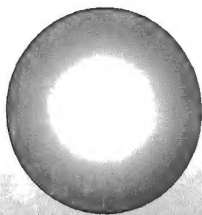
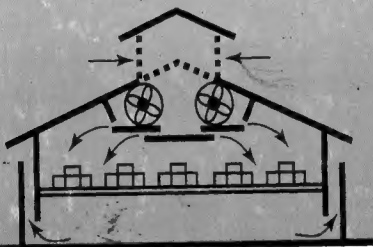


تهوية المنشآت الزراعية



محرر
ميلو أ. هيليكسون جون ن. ووكر



ترجمة
الدكتور محمد حلمي إبراهيم

النشر العلمي و المطابع
جامعة الملك سعود





تهوية المنشآت الزراعية

تحرير

ميلو أ. هيليكسون

أستاذ ورئيس قسم الهندسة الزراعية
جامعة ولاية داكوتا الجنوبية ، بروكينس

جون ن. ووكر

وكيل كلية الزراعة
جامعة كينتاكلي ، ليكسنجتون

ترجمة

الدكتور محمد حلمي إبراهيم

أستاذ مشارك - قسم الهندسة الزراعية
كلية الزراعة - جامعة الملك سعود

النشر والمطابع - جامعة الملك سعود

ص.ب. ٢٤٥٤ - الرياض ١١٤٥١ - المملكة العربية السعودية



ج) جامعة الملك سعود ، ١٤١٨ هـ (١٩٩٧ م)

هذه ترجمة عربية مصرح بها لكتاب :

Ventilation of Agricultural Structures by:

Mylo A. Hellickson and John N.Walker

© 1983, published by American Society of Agricultural Engineers

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر
تهوية المنشآت الزراعية / ميلو أ. هيليكسون، جون ن. ووكر ؛ ترجمة
محمد حلمي طلبة-الرياض.
٦١٤ ص ٢٤×١٧ سم
ردمك : ٧-٧-٥٤٧-٠٥-٩٩٦٠ (جلد)
: ٥-٥-٥٤٨-٠٥-٩٩٦٠ (غلاف)
١- المنشآت الزراعية أ- ووكر، جون ن. (م. مشارك) ب- طلبة.
محمد حلمي (مترجم) ج- العنوان
ديوي ٢، ٦٣١
١٨/٠١٥٩

رقم الإيداع : ١٨/٠١٥٩

حكمت هذا الكتاب لجنة متخصصة شكلها المجلس العلمي بالجامعة . وقد وافق المجلس
على نشره - بعد اطلاعه على تقارير المحكمين - في اجتماعه الثالث عشر للعام الدراسي
١٤١٦/١٤١٧ هـ المعقود بتاريخ ١٢/١١/١٤١٦ هـ الموافق ٣١/٣/١٩٩٦ م .

مطابع جامعة الملك سعود ١٤١٨ هـ



مقدمة المترجم

تعتبر الترجمة - التي كانت إحدى دعائم الحضارة الإسلامية في عصورها الزاهرة - أحد الروافد الرئيسية لإثراء المكتبة العربية بالكتب العلمية. وقد قمت بترجمة هذا الكتاب لإضافة بعض المعلومات التقنية التي تفتقر إليها المكتبة العربية في حقل الهندسة الزراعية عامة وحقل هندسة بيئة المنشآت الزراعية خاصة. وقد بذل الجهد في ترجمة هذا الكتاب ليكون كتاباً مقررًا لطلبة الهندسة الزراعية، إلا أنني أمل أيضاً أن يكون مرجعاً مفيداً للتعليم الجامعي والدراسات العليا والدارسين في المعاهد الفنية والقائمين على إدارة وتشغيل المنشآت الزراعية، وذلك إسهاماً في تطوير الحركة العلمية في الوطن العربي. فهناك شعور بما يعانيه الطالب من مشقة استيعاب العلوم بلغة أجنبية، وحتى في حالة الإلمام بتلك اللغة فإن ذلك لا يكون بالضرورة كافياً لثُمُكنهُ من تتبع المعلومات. فقد لا يتحقق في أغلب الأحيان الفهم والإدراك الكامل للمعلومات إلا عن طريق اللغة الأم.

ومع أن هذا الكتاب قد عُنِيَ بتوفير المعلومات لخدمة الإنتاج الزراعي في أمريكا الشمالية، إلا أن محاولة الانتفاع بتلك المعلومات رغم اختلاف الظروف البيئية والمادية سوف يحقق فوائد قيَّمة. ويُعد الكتاب عموماً شاملاً وذا عمق من حيث الإلمام بالمفاهيم البيئية وغزارة المعلومات الأساسية، وقيماً كذلك في جوانب علمية وتطبيقية متعددة. وقد كان التركيز على ترجمة اللغة إيماناً بأهميتها مع الاحتفاظ بالمعادلات لكونها تكاد تكون عالمية من حيث السهولة عند الرجوع والاطلاع بأي لغة أخرى دون مشقة. وفي النهاية أرجو أن أكون قد وفَّقت في تقديم عمل مفيد، والله من وراء القصد..

المترجم

مقدمة المحررين

تعتبر عملية تكيف الظروف البيئية السبب الأساسي الذي من أجله بُنيت المنشآت الزراعية، كما أن لمستوى التحسن في الظروف البيئية التأثير الواضح على العديد من أوجه الإنتاج الزراعي. وتعتبر التهوية أحد أهم عناصر تهوية البيئة. ويتأثر نظام التهوية - والذي يعتبر عنصراً ضرورياً في نظام تهوية بيئة المنشآت الزراعية - بالتنوعات ذات المدى الواسع لكل من المتغيرات الطبيعية والبيولوجية. ويعتمد تصميم نظام تهوية ملائم على مدى الفهم لطبيعة تلك المتغيرات، وعلى مدى التكامل مع الأساليب الإدارية والعوامل الاقتصادية. ويزيد من تعقيد ذلك النظام كل من المتطلبات البيئية الواسعة التغير والظروف المناخية والطبيعة الفعالة للنظم البيولوجية. ولكن يمكن من خلال تصميم ملائم لنظام التهوية وبمساعدة نظم تهوية البيئة الأخرى الوصول إلى ظروف بيئية تسمح بالحصول على مستويات إنتاج زراعي لم يكن في المقدور الحصول عليها.

ويحتاج لتطوير التصميمات التي سوف تتيح هذا المستوى من التحكم البيئي إلى فنيين مُدرّبين مع توافر المعلومات الحديثة. وقد كانت نية المحررين تجميع "أفضل ما تم الوصول إليه" من معلومات وثيقة الصلة بتهوية المنشآت الزراعية لغرض تهوية البيئة في مطبوعة مُفردة. ويتطلب ذلك الأخذ في الاعتبار للعلوم الطبيعية والبيولوجية والاستجابات البيولوجية للبيئة والأدوات الطبيعية لتوفير التهوية ونظم التهوية والإدارة ومتطلبات الطاقة والاقتصاديات. وقد تم إعداد كل مجال من تلك المجالات المختلفة في مقطع ملائم في هذا الكتاب.

المحرران

يونيو ١٩٨٣ م

المحتويات

مقدمة المترجم	هـ
مقدمة المحررين	ز

الفصل الأول: مقدمة

مقدمة	١
-------------	---

الفصل الثاني: مقاييس خواص الهواء الرطب

الأهمية	٥
خواص الهواء الرطب	٦
قانون دالتون	٧
نسبة الرطوبة	٨
الرطوبة النسبية	٨
الحجم النوعي	٩
درجة الحرارة	٩
المحتوى الحراري للهواء	١٠
الخريطة السيكمرومترية	١١
العمليات المؤثرة على مخلوط هواء-بخار ماء	١٢

الفصل الثالث: توزيع هواء التهوية

مداخل الهواء	٢٨
--------------------	----

٤٠	علاقات أساسية لنافورات هواء التهوية
٥٠	توزيع هواء التهوية
٥٣	قياس هواء الأرضية

الفصل الرابع: وسائل وأجهزة التحكم في التهوية

٦٠	المراوح
٧٢	المحركات الكهربائية
٧٨	أجهزة التحكم في التهوية
٨٥	أجهزة حس الرطوبة
٨٦	أجهزة التوقيت
٨٩	محركات المصاريح والمضخات
٩٠	منطقية التحكم
٩٢	أجهزة التحكم ذات السرعات المتغيرة
٩٣	المراحل
٩٤	تغيير التردد لإزاء التحكم على مراحل
٩٦	التحكم في التهوية باستخدام معالج البيانات
٩٧	المصاريح والمضخات
٩٩	نظم التدفئة
١٠٤	تنقية الهواء

الفصل الخامس: التهوية الطبيعية

١١٢	أساسيات التهوية الطبيعية
١٣٣	توجيه المبنى
١٣٤	فتحات التهوية الطبيعية في المباني الباردة
١٣٨	تهوية العلية

الفصل السادس: التبريد التبخيري

١٤٤	نظرية التبريد التبخيري
١٤٦	تطبيق الأساس
١٤٨	تصميم المبرد
١٤٨	نوع مادة الوسادة
١٥٠	تركيب الوسادة
١٥٢	سماكة وكثافة الوسادة
١٥٣	سرعة الهواء
١٥٥	سريان الماء في الوسائد
١٥٧	المعدلات المرتفعة وسعة الخوض للمائي
١٥٩	التبريد التبخيري للدجاج اللحم
١٦٣	التبريد التبخيري للبيوت المحمية
١٦٦	التبريد التبخيري للماشية الحلابة
١٦٧	التبريد التبخيري لإنتاج أبقار اللحم

الفصل السابع: تأثيرات البيئة الحرارية والغازية على الحيوانات المزرعية والدواجن

١٦٩	مقدمة
١٧٠	ثبات درجة حرارة الجسم
١٧٤	الاتزان الحراري
١٨٨	تأثيرات درجة الحرارة
٢١٢	تأثيرات الرطوبة
٢١٦	تأثير سرعة الهواء
٢١٩	تأثيرات ملوثات الهواء

الفصل الثامن: معدل سريان الهواء لتهوية المواشي والدواجن

٢٣٧	..... مقدمة
٢٣٧	..... معادلات أساسية
٢٤٢	..... اختيار القيم
٢٤٧	..... مقارنة النتائج
٢٦٨	..... معدلات تهوية قياسية

الفصل التاسع: نظم تهوية منشآت الحيوانات المزرعية والدواجن

٢٧٢	..... أساسيات تجهيزات عامة
٢٧٣	..... مواضع تركيب وتشغيل تجهيزات التهوية
٢٧٩	..... مراحل معدلات التهوية
٢٨٢	..... نظم التهوية الطاردة
٢٨٧	..... نظم التهوية الضاغطة
٢٩٠	..... التهوية ذات الضغط المتبادل
٢٩١	..... نظم التهوية الطبيعية

الفصل العاشر: تأثير البيئة على نمو النبات

٣٠٥	..... مقدمة
٣٠٦	..... درجة الحرارة
٣٢٣	..... الرطوبة النسبية
٣٢٥	..... الضوء
٣٤٤	..... بيئة الجذور
٣٥٦	..... التعقيم للتحكم في الأوبئة

الفصل الحادي عشر: معدل سريان الهواء لمنشآت البيوت المحمية

٣٦٥	..... مقدمة
٣٦٦	..... الاتزان الحراري لبيت محمي
٣٧٤	..... الاتزان الكتلي لبيت محمي مهوي
٣٧٦	..... اختيار قيم حسابات انتقال حرارة - كتلة
٣٨٣	..... تطبيقات نموذجية
٣٩٦	..... الخلاصة

الفصل الثاني عشر: نظم التهوية لمنشآت البيوت المحمية

٣٩٩	..... أساسيات عامة للتجهيزات
٤١٥	..... نظم التهوية الطاردة
٤٢٣	..... نظم التهوية الضاغطة
٤٢٩	..... نظم التهوية الطبيعية
٤٣٢	..... تصميم نظام تهوية محدد

الفصل الثالث عشر: تهوية مخازن المحاصيل البستانية

٤٣٨	..... التنفس
٤٥٠	..... النتح
٤٥٧	..... معاملات النتح المتحصل عليها من الدراسات السابقة
٤٦١	..... اعتبارات معاملة الهواء
٤٦٨	..... تطبيقات عملية على تصميم نظام تهوية
٤٧٧	..... مثال عن نظام تهوية الكرب
٤٧٩	..... مثال عن نظام تهوية البطاطس

الفصل الرابع عشر: التهوية - طاقة واقتصاديات

٤٩٢	..... التهوية المثلى - تصميم وإدارة
٥٠٣	..... حدود عمل تجهيزات نظام التهوية: تصميم وإدارة

الملاحق

٥١٧	..... ملحق (أ)
٥٢٧	..... ملحق (ب)
٥٢٩	..... ملحق (ج)
٥٤١	..... ملحق (د)
٥٤٧	..... ثبت المصطلحات العلمية
٥٤٧	..... أولاً: عربي - إنجليزي
٥٧٣	..... ثانياً: إنجليزي - عربي
٦٠١	..... كشف الموضوعات

مقدمة *

(INTRODUCTION)

تعتبر عملية التهوية من أهم عمليات نظم تهيفة البيئة بالنسبة للمنشآت الخاصة بالإنتاج الحيواني والنباتي . والغرض من نظام التهوية هو توفير هواء نقي معتمداً على ظروف المناخ والمتطلبات البيئية بالنسبة للوحدات البيولوجية داخل المنشأة . وتتغير الوظائف الأولية لنظام التهوية بتغير نوع التطبيق والمناخ والوقت من السنة ومدى نضج النظام البيولوجي في المنشأة المراد تهويتها وعوامل أخرى . ونتيجة لذلك نجد أن تصميم نظام تهوية يتطلب التكامل لكل من العلوم البيولوجية والفيزيائية مع الأخذ في الاعتبار للمدى الواسع من التفاعلات المعقدة .

ويجب أن يُصاحب نظام التهوية برنامج إداري جيد حتى يتسنى الحصول على تطوير بيئي ناجح . ويمكن إرجاع الفشل في الحصول على الإنجاز كاف إلى عدة عوامل مثل ضعف التصميم أو نتيجة لسوء تشغيل وإدارة نظام التهوية . ول سوء الحظ يرجع السبب في المشاكل الناجمة عن أخطاء في التصميم والتركيب إلى عدم توافر المعلومات الكافية والعجز عن فهم التعقيدات والتفاعلات الموجودة داخل المنشآت الزراعية .

ويوجد العديد من القوانين والعلاقات الأساسية التي يمكن استخدامها عند حساب معدلات التهوية المطلوبة وتوزيعات سريران الهواء . وتعتبر تلك القوانين والعلاقات الأساسية من المتغيرات التصميمية الهندسية التي يجب أخذها في الاعتبار . ولا بد أن تتكامل هذه المتغيرات بالنسبة لنظم التهوية الزراعية مع المتغيرات البيولوجية والإدارية والبيئية ، كما يجب أن تتطور المتغيرات الإنشائية

* ميلو أ. هيلكسون : جامعة ولاية داكوتا الجنوبية ، بروكينس

جون ن. ووك : جامعة كيتاكي ، ليكسنجتون

والتصميمية لتلائم التغيرات الكبيرة في الظروف المناخية . ونتيجة لذلك يتعين على مصمم نظم التهوية الفهم الكامل لهذه المتغيرات . ويجب أن يُصاحب هذا الفهم أيضاً توافر المعلومات وفهم لطبيعة عمل وخصائص الأجهزة المستخدمة في التهوية وتهئية البيئة .

ويهدف هذا الكتاب إلى توفير المعلومات الأساسية الخاصة بتهوية المنشآت الزراعية عند المستوى المطلوب مع تقديم الخلفية العلمية لكل المهتمين بمجال التهوية الزراعية . ويتم التركيز في هذا الكتاب على التهوية المرتبطة بتهئية البيئة في المباني الخاصة بكل من الإنتاج الحيواني و النباتي والمخازن . ولا يتضمن هذا الكتاب تطبيقاً للعمليات الهندسية على المنتجات الزراعية مثل تخفيف الحبوب والحشائش . فالغرض من هذا الكتاب هو تقديم " أفضل مآتم الوصول إليه " بالنسبة لتهوية المنشآت النباتية والحيوانية بدءاً بتقديم أساسيات التهوية حتى التطبيق في التصميم والإدارة ، مع الأخذ في الاعتبار اقتصاديات وخصائص استخدام الطاقة بالنسبة لنظم محددة . ويتضمن هذا بالضرورة الاعتبارات الفسيولوجية الخاصة بمدى استجابة الماشية والنباتات للبيئة ، حيث تعتبر هذه الاستجابات ضرورية للحصول على التصميم والأداء المناسبين لنظم التهوية .

ويتضمن التخطيط التنظيمي لهذا الكتاب وضع أساسيات التهوية والمتغيرات والعوامل والشروط المناسبة لكل تطبيقات التهوية الزراعية في الفصول من الثاني حتى السادس . وتتيح تلك الموضوعات فهماً لطريقة إيجاد خصائص الديناميكا الحرارية بالنسبة إلى الهواء الرطب والتي تعتبر ضرورية لتحليل عمليات تكيف الهواء . كما تسمح أيضاً تلك الموضوعات بتقديم أساسيات توزيع الهواء اللازم لعمل التصميمات الخاصة بالخلط الملائم لكل من الهواء الخارجي والداخلي مع التوزيع المنتظم لهذا الهواء المخلوط داخل الأماكن والمخازن المغلقة ، كما تسمح أيضاً بتقديم أنواع عديدة من معدات التهوية وخصائص تشغيلها ، بحيث يتم اختيار المعدة المتوافقة مع الشروط البيئية المرغوبة وطرق التشغيل والإدارة . وقد تضمنت هذه المناقشات أيضاً أساسيات التهوية الطبيعية والتبريد التبخيري . وهناك فصول أخرى تستخدم هذه

الأساسيات الشائعة في تصميم نظام تهوية بالنسبة لتطبيقات محددة .
وقد تضمن الجزآن الثاني والثالث من هذا الكتاب المعلومات الخاصة بتصميم نظم التهوية بالنسبة لمباني الإنتاج الحيواني والنباتي ومنشآت التخزين على الترتيب . وقد تم اختيار الطريقة المتوازنة لغرض تصميم وتطوير نظم التهوية بالنسبة لمنشآت الماشية والدواجن والنباتات . وتحتوي الفصول من السابع حتى التاسع على المعلومات الخاصة بتأثير البيئة على كل من الماشية والدواجن ، وعلى معدلات هواء التهوية المطلوبة ، ونظم التهوية للختارة لمنشآت الإنتاج الحيواني . وقد تم تطوير هذه الفصول ، ليس فقط لإمكان حساب المعدلات المطلوبة من الهواء والأجهزة الضرورية ، ولكن أيضاً لتقديم المعلومات الأساسية عن أهمية العوامل المتضمنة ، وعلى أهمية الأخذ في الاعتبار للتفاعلات المعقدة عند التصميم لنظام تهوية .
وتتضمن الفصول من العاشر حتى الثاني عشر طرق مماثلة للتهوية في منشآت الإنتاج النباتي . كما تتضمن أيضاً معلومات عن تأثيرات الظروف البيئية على نمو النبات ، وعلى طريقة تحديد تصميم النظام المقترح بناءً على الظروف المطلوبة . ويتضمن الفصل الثالث عشر المعلومات الخاصة بتهوية مخازن المنتجات الزراعية والمتطلبات البيئية وطرق التصميم المختلفة . ولم يناقش هذا الفصل عمليات تخفيف المنتجات أو مخازن التبريد أو التخزين للمحكم ، ولكنه يقتصر فقط على المحاصيل التي يتم التحكم في تهوية بيئتها . ويجب أن نتذكر أن التطبيق الملائم للمعلومات المتوافرة في الفصول من السابع حتى الثالث عشر تعتمد على تقدير وفهم للأساسيات المعروضة في الفصول من الثاني حتى السادس .

ويختتم الكتاب بملخص يتضمن مناقشة العلاقات بين التهوية والطاقة من الناحية الاقتصادية بهدف توفير معلومات أساسية عن التصميم الشامل لنظم التهوية . كما تضمن أيضاً مناقشة موجزة عن البرامج الرياضية التي تم تطويرها كأدوات مساعدة لتصميم نظام تهوية معين . كما تتضمن الملخص الإجراءات الخاصة والمرتبطة بتأثيرات البيئة على النظم البيولوجية من الناحية الفسيولوجية والاقتصادية والتفاعلات بين اختيار أجهزة نظم التهوية . وتوجد أيضاً دراسة عن العلاقة بين الأداء

والاقتصاديات وكل من التكاليف الثابتة والمتغيرة لأنواع مختلفة من نظم التهوية وكيفية تحليل التكاليف الكلية .

وأخيراً، يوجد في الملحق بعض المعلومات المناخية المفصلة لمناطق عديدة في الولايات المتحدة الأمريكية . والغرض من تلك المعلومات هو استخدامها في التصميمات الخاصة بمعظم نظم التهوية . ويجب أيضاً استخدام بيانات محلية في حالة توافر تلك البيانات، أو في حالات تصميمية خاصة .

الفصل (الثاني)

مقاييس خواص الهواء الرطب* (PSYCHROMETRICS)

- الأهمية • خواص الهواء الرطب • قانون دالتون
- نسبة الرطوبة • الرطوبة النسبية • الحجم النوعي
- درجة الحرارة • المحتوى الحراري • الخريطة
- السيكرومترية • العمليات المؤثرة على مخلوط هواء - بخار ماء

الأهمية

(SIGNIFICANCE)

تختص القوانين السيكرومترية بتحديد خواص الديناميكا الحرارية للهواء الرطب مع استخدام تلك الخواص في تحليل الظروف والعمليات المرتبطة بهذا الهواء . وتشير تلك القوانين إلى حالة الجو إيماءً للرطوبة .

يتكون الغلاف الجوي للأرض من مخلوط من الغازات بالإضافة إلى كمية متغيرة من بخار الماء . ويبين الجدول رقم (١، ٢) - والمأخوذ من (International Joint Committee on Psychrometric Data) - تركيب الهواء الجاف . ويجب أن يُلم خريج الهندسة الزراعية المهتم بتصميم نظم تهوية بيئة النباتات والمحاصيل والحيوانات بالخواص الطبيعية والديناميكا الحرارية لمخاليط هواء - بخار ماء ، أي بالعلاقات السيكرومترية . ويعتبر الإلمام بتلك الخواص مهماً أيضاً بالنسبة للإنسان ، وذلك لتأثرنا الواضح بكل من درجة الحرارة والرطوبة النسبية المحيطة بنا .

■
مانجولد د. وياندي د. س . : جامعة ولاية أيوا ، إيس أيوا
هيلكسون م. أ . : جامعة ولاية داكوتا الجنوبية ، بروكينس

جدول (٢، ١). تركيب الهواء الجاف

غاز	الوزن الجزيئي	جزء المول من التركيب	الوزن الجزيئي
أكسجين (أ)	٣٢,٠٠٠ *	٠,٢٠٩٥ =	٦,٧٠٤
نيتروجين (ن)	٢٨,٠١٦ *	٠,٧٨٠٩ =	٢١,٨٧٨
أرجون (أر)	٣٩,٩٤٤ *	٠,٠٠٩٣ =	٠,٣٧١
ثاني أكسيد الكربون (ك أ)	٤٤,٠١ *	٠,٠٠٠٣ =	٠,٠١٣
			٢٨,٩٦٦

خواص الهواء الرطب

(PROPERTIES OF MOIST AIR)

يتغير وزن بخار الماء في الهواء بتغير درجة الحرارة. فيتغير المحتوى الرطوبي للهواء من صفر بالنسبة للهواء الجاف إلى ١٠٠٪ رطوبة نسبية (عند التشبع)، وذلك عند درجة حرارة محددة. ويمكن ربط كل من الضغط والحجم والوزن والخواص الحرارية لمخلوط من بخار الماء والهواء بمجموعة متوالية من القوانين المستنتجة بالنسبة للغاز المثالي، وتطبيقها بدقة مقبولة على عمليات تتضمن مخالطة الهواء وبخار الماء تحت الظروف الطبيعية.

قانون الغاز المثالي (Perfect Gas Law)

يمكن وصف الحالة الديناميكا الحرارية للهواء الرطب بملومية الضغط وأي خاصيتين أخريتين مستقلتين. وسوف يتضح بعد ذلك أنه قد تم تطوير معظم الخرائط السيكرومترية عند ثبات الضغط، ومن الضروري عند الاستخدام فقط معرفة أي خاصيتين أخريتين مستقلتين. ويمكن كتابة العلاقة الرياضية التي تربط خواص الغاز المثالي على الصورة:

$$P(V) = m(R)(T) \quad (٢, ١)$$

حيث:

$$P = \text{ضغط البخار، نيوتن/م}^2$$

$$V = \text{حجم الغاز ، م}^3$$

$$m = \text{كتلة الغاز ، كجم}$$

$$R = \text{الثابت العام للغازات ، جول / كجم . ك}$$

$$T = \text{درجة الحرارة المطلقة للغاز ، ك.}$$

ويعتبر سلوك مخلوط الهواء وبخار الماء قريباً من الغاز المثالي ، بحيث إنه يمكن تطبيق المعادلة السابقة مع وجود نسبة خطأ يمكن إهمالها بالنسبة لدرجات الحرارة والضغط في المدى المستخدم لتهيشة البيئة الخاصة بمعظم العمليات المرتبطة بالمنشآت الزراعية . ويمكن استخدام الثابت العام للغازات بالنسبة للهواء الجاف ($R_a = 287 \text{ J/kg.K}$) ، وبالنسبة لبخار الماء ($R_w = 461 \text{ J/kg.K}$) في الحسابات الخاصة بالهواء داخل المدى البيئي المستخدم في المباني الزراعية .

قانون دالتون

(DALTON'S LAW)

يمكن معاملة مخلوط بخار الماء والهواء الجاف معاملة الغاز المثالي . فنجد على حسب قانون دالتون أن كل عنصر في أي مخلوط من الغازات له ضغطه الجزئي الذي يعتبر مستقلاً عن الغازات الأخرى . ويعتبر الضغط الكلي لمخلوط الغازات هو مجموع كل الضغوط الجزئية .

$$P = P_a + P_w = (m_a R_a T_a / V_a) + (m_w R_w T_w / V_w) \quad (2, 2)$$

وبفرض انتشار كل غاز داخل المخلوط بانتظام ، فإن كل عنصر غازي له نفس الحجم ودرجة الحرارة ، ومن ثم تصبح المعادلة السابقة :

$$P = (T/V)(m_a R_a + m_w R_w) \quad (2, 3)$$

ويمكن كتابة التالي من المعادلة رقم (2, 2) بفرض تساوي حجم ودرجة حرارة المخلوط :

$$(P_w/P_a) = (m_w R_w)/(m_a R_a) \quad (2, 4)$$

وعلى ذلك فيمكن حساب الضغوط الجزئية بمعلومية الضغط الكلي ووزن بخار الماء .

نسبة الرطوبة

(HUMIDITY RATIO)

تعرف نسبة الرطوبة على أنها كتلة بخار الماء بالكجم الموجودة في واحد كجم من الهواء الجاف في مخلوط من الهواء وبخار الماء . ويمكن كتابة نسبة الرطوبة (w) بالنسبة لمخلوط من الهواء وبخار الماء من المعادلة رقم (٢, ٢) كالآتي :

$$\begin{aligned} W &= (M_w/M_a) \\ &= (P_w V_w R_a T_a)/(P_a V_a R_w T_w) \\ &= (R_a P_w)/(R_w P_a) \end{aligned}$$

حيث كل من بخار الماء والهواء الجاف لهما نفس الحجم ودرجة الحرارة . وتصبح نسبة الرطوبة بعد التعويض بالقيم الرقمية لثوابت الغازات كالآتي :

$$(٢, ٦) \quad W = (m_w/m_a) = 0.622 [P_w/(P_a - P_w)]$$

حيث :

W = نسبة الرطوبة ، كجم / كجم هواء جاف

m_a = كتلة الهواء الجاف ، كجم

m_w = كتلة بخار الماء ، كجم

P_w = ضغط بخار الماء ، نيوتن / م^٢

P_a = الضغط الجوي ، نيوتن / م^٢

الرطوبة النسبية

(RELATIVE HUMIDITY)

تعرف الرطوبة النسبية (ϕ) على أنها نسبة ضغط بخار الماء الموجود في هواء رطب (P_w) إلى الضغط المشبع لبخار الماء (P_s) عند نفس درجة الحرارة . ويُعبر عن الرطوبة النسبية كنسبة مئوية بالمعادلة التالية :

$$(٢, ٧) \quad \phi(\%) = (P_w/P_s) * 100\%$$

ويمكن الحصول على الضغط المشبع لبخار الماء مباشرةً من أي جدول بخار قياسي .

الحجم النوعي

(SPECIFIC VOLUME)

يُشار إلى حجم غاز أو مخلوط على أنه الحيز المشغول بكمية معلومة. ويُعرف الحجم النوعي في عمليات تكييف الهواء بالأمطار المكعبة لكل كجم من مخلوط الهواء الجاف وبخار الماء. ويرجع السبب في استخدام واحد كيلو جرام من الهواء الجاف دائماً إلى بقاء الكيلوجرامات من الهواء الجاف سواء الداخلة أو الخارجة من وحدة التكييف ثابتة في زمن معلوم بعد وصول السريان إلى الحالة المستقرة.

ويمكن حساب الحجم النوعي بتطبيق قانون الغاز المثالي بالنسبة للهواء الجاف

فقط.

$$V_a = (m_a R_a T_a / P_a) \quad (٢,٨)$$

حيث:

V_a = حجم واحد كجم من الهواء الجاف عند ضغطة الجزئي، م^٣/كجم.

درجة الحرارة

(TEMPERATURE)

يجب عند التحدث عن درجة الحرارة لمخلوط من الهواء وبخار الماء مراعاة أن هناك ثلاثة أنواع من درجات الحرارة وهي؛ درجة الحرارة الجافة ودرجة الحرارة الرطبة ودرجة حرارة نقطة الندى. وتقاس درجة الحرارة الجافة باستخدام ترمومتر زئبقي جاف يوضع بعيداً عن أشعة الشمس. ويجب أن تؤخذ القراءة بعد وقت كافٍ لضمان الوصول بالقراءة إلى مرحلة الثبات.

وتُقاس درجة الحرارة الرطبة باستخدام ترمومتر زئبقي بعد تغطية الجزء السفلي بقطنة مبللة بالماء وتعريضها إلى تيار هوائي. وتتأثر درجة الحرارة الرطبة بدرجة حرارة الماء المستخدم في القطن المبلل، وتتأثر كذلك بانتقال الحرارة بالإشعاع بين القطن المبلل والوسط المحيط. وتتم عملية تبخير الماء من القطن المبلل عن طريق الحرارة المحسوسة المنقولة من الهواء المحيط. وكلما كان الهواء جافاً كلما ارتفع معدل البخر، وكذلك انخفضت درجة الحرارة المقروعة، حيث تنخفض درجة حرارة الترمومتر بزيادة البخر.

وتعرف درجة حرارة نقطة الندى على أنها درجة حرارة الهواء عند تبريده حتى نقطة التشبع عند نفس ضغط البخار ونسبة الرطوبة. وتعرف درجة حرارة نقطة الندى أيضاً على أنها درجة حرارة مخلوط من هواء-بخار ماء عندما تبدأ رطوبة الهواء في التكثف خارج الهواء عند التبريد تحت ضغط ومحتوى رطوبي ثابت (نسبة الرطوبة). ويمكن إيجاد درجة حرارة نقطة الندى تجريبياً عن طريق إمرار مخلوط من هواء-بخار ماء فوق سطح معدني ناعم، بحيث يمكن قياس درجة حرارته والتحكم فيها. فيتم تبريد الجزء المخلوط الملامس للسطح عند تبريد السطح المعدني، وتبدأ عملية التكثيف لبخار الماء بظهور الضباب على السطح المعدني. وتكون درجة حرارة نقطة الندى هي درجة حرارة السطح المعدني عند بدء ظهور الرطوبة. ويرجع الهدف من استخدام سطح ناعم إلى المساعدة على رؤية الضباب بسهولة.

ويستخدم في بعض الأحيان التعبير "انخفاض الحرارة الرطبة" بالميزان المئوي، حيث يُشير إلى الفرق بين درجة الحرارة الجافة والرطوبة.

المحتوى الحراري للهواء

(ENTHALPY)

يعرف للمحتوى الحراري للهواء على أنه محتوى الطاقة الداخلي لمخلوط هواء-بخار. ويمكن أن يوجد للمحتوى الحراري في المخلوط في صورة حرارة محسوسة - موضع بدرجة الحرارة الجافة- وأيضاً في صورة حرارة كامنة للتبخير (الطاقة الموجودة في بخار الماء). ويعبر عن المحتوى الحراري بوحدات ك.جول/كجم. وليس بالضرورة أن تكون قيم الطاقة الداخلية بالوحدات المطلقة. فمن السهل الحصول على تعبيرات عديدة بالنسبة للمحتوى الحراري والتي يعبر فيها عن الطاقة الداخلية بالوحدات المطلقة كفرق بينها وبين قيمة ثابتة هي في الغالب صفر. ويجب أن تكون درجة الحرارة المختارة لكل من الهواء الجاف وبخار الماء صفر °م عند قيمة صفر للمحتوى الحراري.

ويعرف المحتوى الحراري (hw) المستخدم في العلاقات السيكرومترية بالمعادلة

التالية :

(٢, ٩)

$$hw = ha + w \cdot h_g$$

حيث :

 h_a = المحتوى الحراري للهواء الجاف ، كيلو جول/ كجم h_g = للمحتوى الحراري لبخار الماء ، كيلو جول/ كجم بخار ماء W = المحتوى الرطوبي لبخار الماء ، كجم ماء/ كجم هواء .

وتستخدم المعادلة التقريبية التالية بالنسبة للمحتوى الحراري للهواء الجاف عند درجات حرارة تتراوح ما بين صفر و 60°م .

$$h_a = 1.007 T - 0.026 \quad (2, 10)$$

وتكون المعادلة التقريبية عند درجات حرارة منخفضة (أقل من 10°م) على الصورة

$$h_a = 1.005 T \quad (2, 11)$$

ويمكن استخدام المعادلة التالية للمحتوى الحراري لبخار الماء :

$$h_g = 2501 + 1.84 T \quad (2, 12)$$

ويمكن تجميع المعادلتين رقمي (2, 10) و (2, 12) للحصول على تعبير تقريبي

للمحتوى الحراري للهواء الرطب عند ضغط جوي 1013, 25 ملي بار كالتالي :

$$h_w = (1.007 T - 0.026) + W (2501 + 1.84 T) \quad (2, 13)$$

وتستخدم المعادلة التالية لحساب المحتوى الحراري لهواء رطب عند مدى من درجات الحرارة يتراوح ما بين 10°م و صفر $^{\circ}\text{م}$:

$$h_w = 1.005 T + W(2501 + 1.84T) \quad (2, 14)$$

الخريطة السيكرومترية

(THE PSYCHROMETRIC CHART)

الخريطة السيكرومترية عبارة عن تمثيل بياني لكل من الخواص الطبيعية والحرارية للهواء الرطب ، وذلك كما هو واضح من الشكلين رقمي (2, 10) و (2, 11) . فتوضح الخريطة كيفية تغير حالة الهواء الرطب نتيجة للتغير الفيزيائي أو حدوث عملية تكييف .

وتعتبر الخريطة السيكرومترية أداة قيمة لحل المشاكل الخاصة بتكييف الهواء . ويمكن تمثيل وتحديد أي نقطة تمثل حالة الهواء على الخريطة بمعلومية أي خاصيتين غير متوازيتين من خواص الهواء السيكرومترية . فتحثوي الخريطة السيكرومترية على

درجة الحرارة الجافة للهواء على الإحداثي الأفقي، ونسبة الرطوبة على الإحداثي الرأسي. وتوجد أيضاً خواص أخرى تعرف للهواء مثل: درجة الحرارة الرطبة، والمحتوى الحراري، ودرجة حرارة نقطة الندى، والرطوبة النسبية، والحجم. ويمكن الحصول على تلك الخواص المرتبطة بالهواء الرطب من الخريطة السيكرومترية الموضحة في الشكل رقم (١، ٢).

ويوضح الشكل رقم (٢، ٢) خواص هواء رطب عند درجة حرارة ٢٤°م ورطوبة نسبية ٥٠٪. ونجد من الخريطة السيكرومترية أن درجة الحرارة الرطبة ١٧°م ودرجة حرارة نقطة الندى ١٣°م والمحتوى الرطوبي ٠,٠٠٩٤ كجم/كجم هواء جاف) والحجم ٨٥٥,٠ م^٣/كجم هواء جاف) والمحتوى الحراري ٤٧,٨ كيلو جول/كجم هواء جاف.

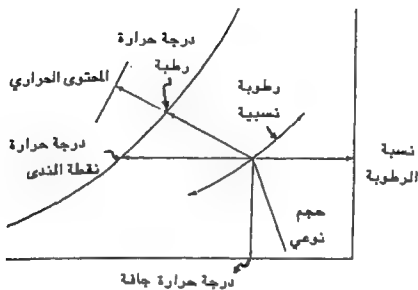
العمليات المؤثرة على مخلوط هواء-بخار ماء

(AIR-WATER VAPOR MIXTURE PROCESSES)

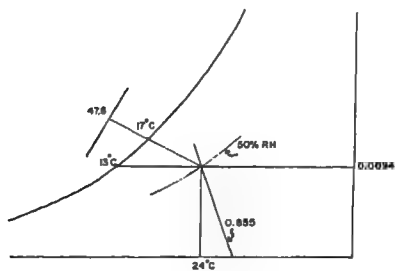
تتضمن عمليات تكييف الهواء كلاً من عمليات التسخين والتبريد والترطيب أو التجفيف لمخاليط هواء-بخار ماء، سواء كانت تلك العمليات تحدث منفردة أو مجتمعة. ويوجد في مجال الهندسة الزراعية العديد من العمليات التي تتضمن مخاليط هواء-بخار ماء. فقد يتطلب تصميم مباني الإنتاج الحيواني والدواجن بعض التعديلات البيئية. ويوجد أيضاً عمليات تجفيف المحاصيل، حيث تتغير خواص الهواء بانخفاض درجة الحرارة وزيادة الرطوبة (adiabatic processes).

التسخين المحسوس (Sensible heating)

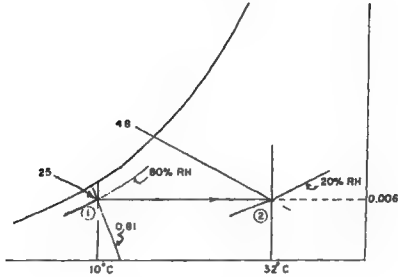
التسخين للمحسوس عبارة عن إضافة حرارة للهواء بدون حدوث أي تغير في نسبة الرطوبة. وتشمل تطبيقات التسخين المحسوس كلاً من تسخين الهواء لاستخدامه في تجفيف الحبوب وتدفئة حظائر الماشية وعنابر الدواجن في فصل الشتاء. وتتم هذه العملية بطول خط أفقي يتحرك من اليسار إلى اليمين - من نقطة ١ إلى نقطة ٢ - وذلك كما في الشكل رقم (٢، ٣).



شكل (٢،١). خواص هواء رطب على خريطة سيكرومترية



شكل (٢،٢). خواص هواء رطب عند درجة حرارة ٢٤ °م ورطوبة نسبية ٥٠ %.



شكل (٢، ٣). عملية تسخين محسوس

مثال

احسب كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة ٨١ متر مكعب من الهواء عند ظروف النقطة (١) (درجة حرارة جافة ١٠ م° ورطوبة نسبية ٨٠٪) إلى ظروف النقطة (٢) (درجة حرارة جافة ٣٢ م°). احسب أيضاً الرطوبة النسبية النهائية.

الحل

يوضح الشكل رقم (٢، ٣) الحرارة المحسوسة بخط أفقي يمتد من ١٠ م° ورطوبة نسبية ٨٠٪ إلى درجة حرارة ٣٢ م°. ونجد عند نقطة (٢) أن الرطوبة النسبية ٢٠٪. وقد كان الحجم النوعي عند نقطة (١) حوالي ٨١ م³ / (كجم هواء جاف)، والمحتوى الحراري ٢٥ كيلو جول / (كجم هواء جاف) ودرجة حرارة نقطة الندى ٦,٥ م° ونسبة الرطوبة ٠,٠٠٦ كجم / (كجم هواء جاف). وكان المحتوى الحراري عند نقطة (٢) حوالي ٤٨ كيلو جول / (كجم هواء جاف). ويمكن حساب كمية الحرارة المضافة كالآتي:

(٢، ١٥)

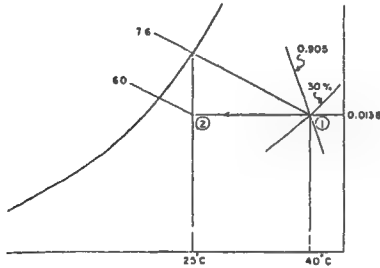
$$1q_2 = m(b_2 - h_1)$$

$$1q_2 = (81/0.81)(48 - 25)$$

$$= 2300 \text{ kJ}$$

التبريد المحسوس (Sensible cooling)

يعتبر التبريد المحسوس عملية تبريد عند نسبة رطوبة ثابتة. ومثال ذلك مرور هواء فوق حلزون معدني، درجة حرارة سطحه أعلى من درجة حرارة نقطة الندى للهواء. ويمثل التبريد المحسوس بخط أفقي يتحرك من اليمين إلى اليسار، الشكل رقم (٤، ٢). ويجب أن لا تقل درجة الحرارة الجافة النهائية عن بداية درجة حرارة نقطة الندى وإلا سوف تحدث عملية تكثيف لبخار الماء، ومن ثم تختري العملية على إزالة حرارة كامنة.



شكل (٤، ٢). عملية تبريد محسوس

مثال

احسب كمية الحرارة المزالة من 30°C من هواء رطب عند درجة حرارة ابتدائية 40°C ورطوبة نسبية 30% إذا تم تبريد الهواء إلى 25°C درجة حرارة جافة وبدون أي تغير في المحتوى الرطوبي (تبريد محسوس).

الحل. يوضح الشكل رقم (٤، ٢) خواص مخلوط الهواء.

نقطة (١): الحجم 905 ، $0^{\circ}\text{C}/\text{كجم}$ هواء جاف

المحتوى الحراري ٧٦ كيلو جول/ كجم هواء جاف
 نقطة (٢): المحتوى الحراري ٦٠ كيلو جول/ كجم هواء جاف
 وتبقى الرطوبة ثابتة عند ٠,٠٠١٣٨ كجم/ كجم هواء جاف.
 إذن كمية الحرارة المحسوسة المزالة:

$$Q_2 = ma (h_1 - h_2)$$

$$Q_2 = (300.905)(76 - 60)$$

$$= 530 \text{ kJ}$$

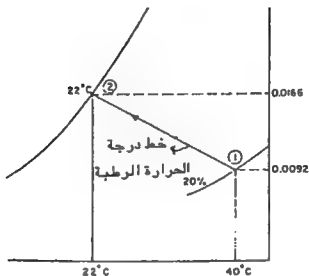
التبريد التبخيري (Evaporative cooling)

يعد التبريد التبخيري عملية (أدياباتيكية) أي يحدث تشبع للهواء ببخار الماء بدون أي إضافة أو فقد للحرارة المكتسبة، أي عند ثبات المحتوى الحراري للهواء. ويكون اتجاه حركة العملية إلى أعلى تقريباً في خط مواز لخط درجة الحرارة الرطبة. وتتم هذه العملية عن طريق تلامس الهواء مع ماء درجة حرارته مساوية لدرجة الحرارة الرطبة للهواء. وتعمل الحرارة المحسوسة للهواء في البداية على تبخير الماء، مما يؤدي إلى انخفاض درجة الحرارة الجافة للهواء وإضافة بخار ماء إلى رطوبة الهواء. أي أن الحرارة المحسوسة قد تحولت إلى حرارة كامنة في صورة بخار ماء أضيف إلى نفس الهواء. وتتم عملية التبريد بكفاءة عالية في الأجواء الحارة الجافة، حيث الفرق بين درجات الحرارة الجافة والرطوبة كبير نسبياً، بينما تقل كفاءة تلك العملية في الأجواء المشبعة بالرطوبة.

مثال

هواء عند درجة حرارة جافة ٤٠°م ورطوبة نسبية ٢٠٪، تم تبريده عن طريق الإمرار على سطح ماء حتى درجة التشبع. احسب كمية بخار الماء المضافة إلى ٣ كجم من الهواء الجاف إذا كانت العملية تبريد تبخيري.

الحل. ينتضح من الشكل رقم (٥، ٢) أن درجة الحرارة الرطبة للهواء ٢٢°م. وتنخفض درجة الحرارة الجافة للهواء أيضاً إلى ٢٢°م، بحيث تتبع العملية خطاً موازياً لدرجة الحرارة الرطبة. ويلاحظ أن الهواء قد وصل إلى درجة التشبع ببخار



شكل (٥، ٢). عملية تبريد-تبخير

الماء أو إلى رطوبة نسبية ١٠٠٪ . ويكون الفرق بين نسبة الرطوبة عند النقطتين :

$$= 0.0166 - 0.0092$$

$$= 0.0074 \text{ kg/kg dry air}$$

وتكون كمية بخار الماء المضاف إلى ٣ كجم من الهواء :

$$W = (0.0074)(3)$$

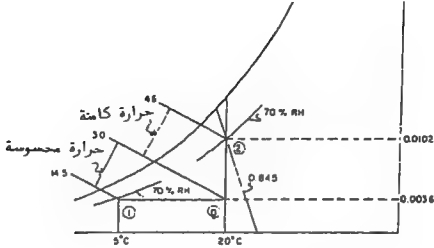
$$= 0.0222 \text{ kg-water}$$

تسخين مع ترطيب (Heating and humidifying)

تحدث عملية التسخين مع الترطيب مع حركة الهواء خلال مباني الإنتاج الحيواني . فتضاف كل من الحرارة والرطوبة المتولدتين من الحيوانات أو اللواجن إلى هواء التهوية كما هو موضح في الشكل رقم (٦، ٢) . ويمكن تمثيل العملية بالمنحنى المنقطع الذي يربط النقطة (١) بالنقطة (٢) .

مثال

نفترض أن هناك هواء رطباً يدخل مبنى عجول عند درجة حرارة ٥°م ورطوبة



شكل (٦, ٢). عملية تسخين مع ترطيب

نسبية ٧٠٪ لإحلاله محل الهواء الداخلي . فإذا كانت عملية إحلال الهواء تتم عند درجة حرارة ٢٠°م ورطوبة نسبية ٧٠٪ ويمعدل ٥ م^٣/ث . احسب كمية الحرارة الكامنة والمحسوسة المضافة إلى الهواء الداخلي .

الحل . يتضح من الشكل رقم (٦, ٢) أن الحجم النوعي للهواء المسحوب إلى الخارج من نقطة (٢) هو ٨٤٥ م^٣/كجم . ويجب لكي يُفصل التغير في المحتوى الحراري الكلي إلى كل من الجزء المحسوس والكامن أن تحدد النقطة (صفر) بحيث تتم عملية التسخين المحسوس من النقطة (١) إلى النقطة (صفر) وعملية الترطيب من النقطة (صفر) إلى النقطة (٢) . وتحتوي الحالة (صفر) على نفس نسبة رطوبة الحالة (١)، كما تحتوي على نفس درجة حرارة الهواء الجافة عند الحالة (٢) . وعلى ذلك فإن :

$$h_1 = 14.5 \text{ kJ/kg da} ; W_1 = 0.0036 \text{ kg of water/kg da} ; h_0 = 30 \text{ kJ/kg da} ;$$

$$h_2 = 46 \text{ kJ/kg da}.$$

وتكون الحرارة المحسوسة المضافة إلى الهواء :

$$1q_0 = m_a(h_0 - h_1)$$

$$= (5/0.845)(30 - 14.5)$$

$$= 91.6 \text{ kW}$$

وتكون الحرارة الكامنة المضافة إلى الهواء :

$$oq_2 = m a f h_2 - h_0$$

$$= (5/0.845)(46 - 30)$$

$$= 94.6 \text{ kW}$$

تبريد مع إزالة رطوبة (Cooling and dehumidifying)

تتضمن عملية التبريد مع إزالة الرطوبة خفض كل من درجة الحرارة الجافة ونسبة الرطوبة. وتعتمد العملية على نوع الأجهزة المستخدمة. فيمر الهواء في ظروف التكثيف الصيفية على حلزون المبخر المعدني الخاص بوحدة التبريد. وقد تحدث أيضاً عملية تكثيف لبخار الماء إذا انخفضت درجة حرارة الهواء إلى أقل من درجة حرارة نقطة الندى. وعادة ما تكون الرطوبة النسبية النهائية في الهواء الرطب أعلى من الرطوبة النسبية في البداية، إلا إذا أعيد تسخين الهواء، أو كان الهواء أصلاً مشبعاً. وتتم في هذه العملية أيضاً إزالة كل من الحرارة المحسوسة والكامنة للهواء.

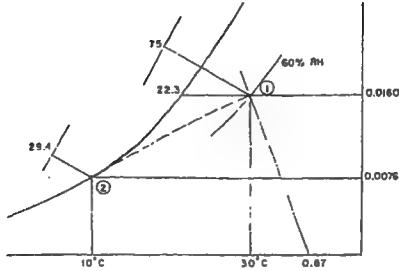
مثال

احسب عدد الأطنان التبريدية المطلوبة لتبريد واحد م^٣/ث من هواء عند الحالة (١) (درجة حرارة جافة ٣٠ م^٣ ورطوبة نسبية ٦٠٪) إلى الحالة (٢) (درجة حرارة جافة ١٠ م^٣ ورطوبة نسبية ١٠٪) احسب أيضاً كمية الرطوبة المزالة (الطن التبريدي هو سعة التبريد لإزالة ٣,٥١٦ كيلواط).

الحل. يوضح الشكل رقم (٢, ٧) الخواص المطلوبة في هذه المسألة.

حالة (١): المحتوى الحراري لمخلوط الهواء وبخار الماء ٧٥ كيلو جول/كجم هواء جاف، والحجم ٠,٨٧ م^٣/كجم هواء جاف، ونسبة الرطوبة ٠,٠١٦ كجم بخار ماء/كجم هواء جاف.

حالة (٢): المحتوى الحراري ٤, ٢٩ كيلو جول/كجم هواء جاف، ونسبة الرطوبة ٠,٠٠٧٦ كجم بخار ماء/كجم هواء جاف.
إذن سعة التبريد المطلوبة (بالطن تبريد):



شكل (٢,٧). عملية تبريد مع خفض الرطوبة

$$\begin{aligned}
 q_T &= m_a (h_1 - h_2) \\
 &= (1/0.87)(75 - 29.4) \\
 &= 52.4 \text{ kW or } 14.91 \text{ tons}
 \end{aligned}$$

وتكون كمية بخار الماء المزالة أثناء العملية :

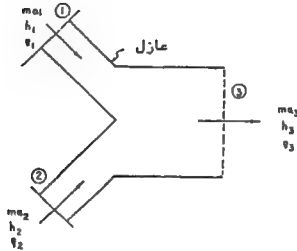
$$\begin{aligned}
 mw &= (1/0.87)(0.016 - 0.0076) \\
 &= 0.00965 \text{ kg/s}
 \end{aligned}$$

الخلط الأدياباتي للهواء رطب (Adiabatic mixing of moist air)

تعد عملية خلط هواء عند ظروف حالتين مختلفتين للحصول على حالة ثالثة من عمليات التكيف الشائعة الاستخدام. فإذا كانت عملية الخلط أدياباتي، كما هو موضح في الشكل رقم (٢,٨)، فإنه يمكن على أساس قانون بقاء المادة كتابة معادلتين الاتزان الكتلي كالتالي :

$$m_{a1} + m_{a2} = m_{a3}$$

وذلك بالنسبة للهواء الجاف، أما بالنسبة لبخار الماء المصاحب فإن :



شكل (٨، ٢). عملية خلط أدياباتي لهواء رطب

$$W1 m_{a1} + W2 m_{a2} = W3 m_{a3}$$

أي أن:

$$(W1 - W3)m_{a1} = (W3 - W2)m_{a2}$$

(٢، ١٦)

$$(W1 - W3)/(W3 - W2) = m_{a2}/m_{a1}$$

وبالمثل نجد بالنسبة لاستخدام أساس بقاء الطاقة أن:

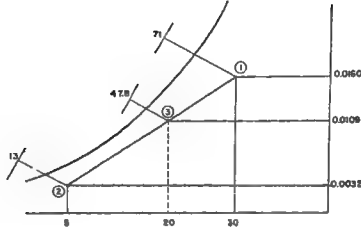
(٢، ١٧)

$$(h_1 - h_3)/(h_3 - h_2) = m_{a2}/m_{a1}$$

وتقع نقطة الحالة النهائية عند خلط تيارى هواء أدياباتيًّا على الخط الواصل بين حالتي الهواء قبل عملية الخلط. وتُقسم نقطة حالة الخلط على ذلك الخط بالنسبة العكسية إلى كتلتي تيارى الهواء الجاف قبل عملية الخلط.

مثال

تم خلط هواء رطب عند درجة حرارة جافة ٣٠°م ورطوبة نسبية ٦٠٪ أدياباتيًّا مع هواء رطب درجة حرارته الجافة ٥°م ورطوبته النسبية ٦٠٪. كما في الشكل رقم (٢، ٩). احسب كلاً من المحتوى الحراري ونسبة الرطوبة لهواء المخلوط إذا كانت



شكل (٢, ٩). عملية خلط - أدياباتي

كتلي الهواء قبل عملية الخلط ٣ و ٢ كجم على الترتيب.
الحل. نجد من الخريطة السيكمترية أن:

$$W1 = 0.016 \text{ kg/kg dry air}$$

$$W2 = 0.0032 \text{ kg/kg dry air}$$

$$h1 = 71 \text{ kJ/kg dry air}$$

$$h2 = 13 \text{ kJ/kg dry air}$$

ونجد بالنسبة لقانون بقاء المادة أن:

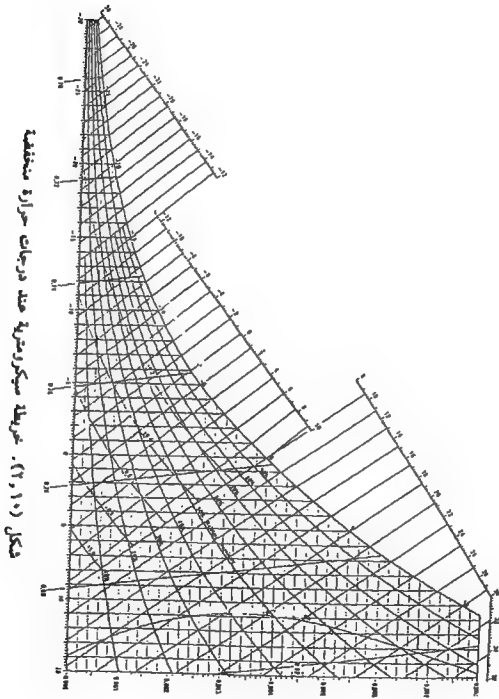
(٢, ١٨)

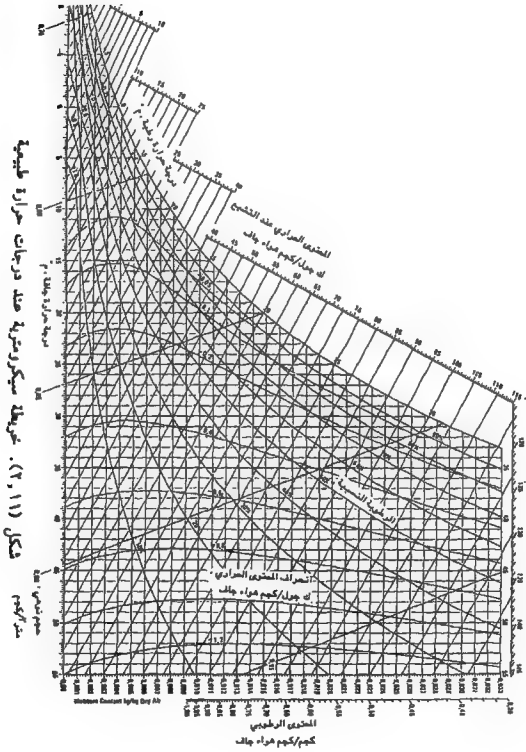
$$\begin{aligned} W3 &= (W1 m_{a1} + W2 m_{a2}) / (m_{a1} + m_{a2}) \\ &= ((0.016)(3) + (0.0032)(2)) / (3 + 2) \\ &= 0.0109 \text{ kg/kg dry air} \end{aligned}$$

(٢, ١٩)

$$\begin{aligned} h3 &= (h1 m_{a1} + h2 m_{a2}) / (m_{a1} + m_{a2}) \\ &= ((71)(3) + (13)(2)) / (3 + 2) \\ &= 47.8 \text{ kJ/kg dry air} \end{aligned}$$

ويمكن بمعلومية خاصيتين من خواص المخلوط تحديد حالة المخلوط على الخط المستقيم الواضح بين الحالتين (١) و (٢).





المراجع

- 1 ASHRAE. Handbook of fundamentals. 1972. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. New York, NY.
- 2 Harris, Norman C. and David F. Conde. 1974. Modern air conditioning practice. McGraw-Hill, Inc.
- 3 Jones, W. P. Second edition. 1973. Air conditioning engineering. Edward Arnold.
- 4 Jordan, Richard C. and Gayle B. Priester. 1956. Refrigeration and air conditioning. Prentice-Hall, Inc.

توزيع هواء التهوية* (VENTILATION AIR DISTRIBUTION)

● مداخل الهواء ● علاقات أساسية لناظرات هواء
التهوية ● توزيع هواء التهوية ● قياس هواء الأرضية

تتضمن التهوية الفعالة للبيئة في معظم المنشآت الحيوانية والنباتية طرق إدخال الهواء الخارجي إلى الحيز المشغول بالنباتات أو الحيوانات. ويعتبر كل من معدل الهواء وطريقة توزيعه مهمتين بالنسبة لتصميم نظم التهوية. ويمكن للمهندس - لكي يحصل على التحكم المطلوب - أن يستخدم أنواعاً عديدة من الأنابيب والموزعات والمخارج والمداخل والمراوح سواء الضاغطة أو الطاردة.

ويجب أن تتم عملية توزيع كمية الهواء المطلوبة توزيعاً جيداً خلال الحيز وذلك لضمان أداء جيد لنظام التهوية. ويعتبر مدخل الهواء ذا تأثير كبير على عملية توزيع الهواء. ويعتبر كل من المدخل والمروحة ذوا أهمية في حساب معدل التهوية. وبالرغم من أنه يجب الأخذ في الاعتبار طريقة توزيع الهواء ومعدل التهوية معاً عند تصميم مدخل هواء، إلا أنه من الأسر لأغراض المناقشة أن يتم الفصل بينهما. وسوف يتم الأخذ في الاعتبار أولاً في هذا الفصل تصميم مدخل

* جاك د. ويلسون : جامعة ولاية كاليفورنيا - سان لويس أوبيسو

لويس د. البريت : جامعة كورنيل - آناكا

جون ن. ووكر : جامعة كيتاكي - ليكسنجتون

هواء بالنسبة لمعدل تهوية محدد .

مداخل الهواء

(AIR INLETS)

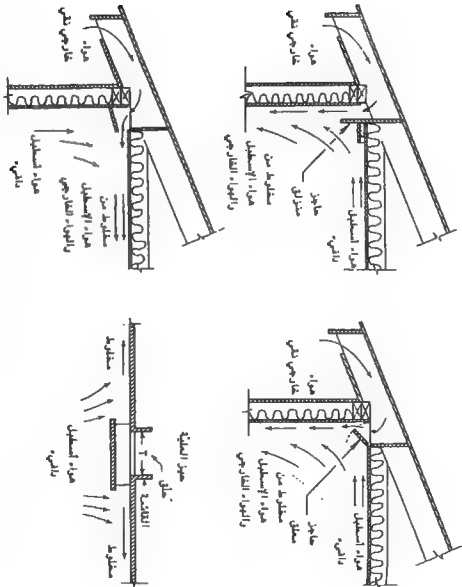
تصميم المدخل (Inlet Design)

الأنواع (Types). يمكن استيفاء الأهداف الخاصة بالحصول على تهوية جيدة بالنسبة للمباني الزراعية باستخدام عدة تصميمات لنظم التهوية . فيمكن تقسيم تصميمات مداخل الهواء بالنسبة لنظم الطرد بسهولة إلى ثلاثة أنواع عامة : (أ) فتحات محيطية بحواجز مفصلية لتوجيه الهواء (ب) فتحة مركزية بوسط السقف (ج) أنبوية أو ماسورة تهوية مع ثقب دائرية بطول الماسورة تستخدم في توزيع الهواء . ويتم تركيب العديد من الفتحات في موقع العمل مع تغيرات جذرية في التركيب من موقع إلى آخر . ولكن قد يؤول العديد من هذه التركيبات في النهاية إلى أحد النماذج الأربعة الموضحة في الشكل رقم (١ ، ٣) . وهناك ثلاثة أنواع من الأربعة تعتبر من النوع للحيط ، أما النوع الرابع فيستخدم التصميم المستمر لفتحة مركزية بوسط السقف . وغالباً ما تستخدم الفتحة المركزية الموجودة بوسط السقف مع نظم التهوية المضاغطة . وتعتبر مداخل موزعات السقف من أنابيب الضغط والحواجز الموجودة في مقدمة مراوح الضغط من الأنواع الشائعة . وتعتبر الأنابيب ذات الصناديق الرأسية والموجودة في مقدمة الحائط الجانبي والمركب عليها مراوح مع مدخل أفقي في أنبوية السقف شائعة الاستخدام أيضاً في نظم التهوية ذات الضغط الإيجابي في المنشآت الزراعية .

معادلة الاستمرار (Continuity Equation) . يمكن وصف السريان الثابت للموائع غير القابلة للانضغاط وذات الكثافات المنخفضة بمعادلة الاستمرار بالإضافة إلى معادلة برنولي للطاقة ، والتي تأخذ الشكل التالي :

$$p(V^2/2) + P = \text{constant} \quad (١ , ٣)$$

حيث :



$P = \frac{\rho \cdot V^2}{2}$ الكثافة، كجم/م^٣
 $P = \frac{\rho \cdot V^2}{2}$ الضغط الاستاتيكي، باسكال
 $V = \frac{Q}{\rho}$ السرعة، م/ث
 شكل (١، ٢٣). أمثلة عن طرق إنشاء قصبات مدخل

ويمثل الجزء ($\rho V^2/2$) ضغط السرعة (VP) الذي إذا تم إضافته إلى الضغط الاستاتيكي نتج عنه الضغط الكلي (TP) للمائع المتحرك.

ونكتب معادلة برنولي الخاصة بهواء خارجي يمرر من خلال فتحة تهوية كالتالي:

$$(٣, ٢) \quad \rho V_0^2/2 + P_0 = \rho V_i^2/2 + P_i$$

ويمكن حساب السرعة خلال المدخل في حالة ما إذا كانت سرعة هواء الجو الخارجي صفراً كالتالي:

$$(٣, ٣) \quad V_i = [2 (P_0 - P_i)/\rho]^{0.5}$$

وتربط معادلة الاستمرار معدل السريان الحجمي ($m^3/ث$) خلال مساحة المدخل (A_i) (m^2)، وعند سرعة V_i ($m/ث$) كالتالي:

$$(٣, ٤) \quad Q_a = A_i (V_i)$$

ويكون معدل السريان بالنسبة لوحدة الأطوال لمدخل عرضه (W) بالأمتار وطول (l) بالأمتار كالتالي:

$$(٣, ٥) \quad Q_a/l = W(V_i)$$

ويكون معدل سريان الهواء الحجمي (Q_i) بالنسبة لوحدة الأطوال من مدخل عرضه (W) بالأمتار كالتالي:

$$(٣, ٦) \quad Q_i/l = W(V_i)$$

ويمكن استخدام معامل التصرف المحسوب بالتجارب (C_d) مع المعادلة رقم ($٣, ٦$) للتنبؤ بمعدل السريان الحجمي الحقيقي (Q_a). ويتضمن حساب كل من معامل التصرف الفوائد الناتجة عن الاحتكاك والدوامات وتغيير مساحة مقطع السريان وبعض التأثيرات الأخرى.

$$(٣, ٧) \quad Q_a/l = C_d(Q_i)/l = C_d(W)[2(P_0 - P_i)/\rho]^{0.5}$$

ويعبر عن ضغط الهواء الاستاتيكي عند تركه لمدخل بضغط حيز الهواء الداخل إلى الفتحة. وهكذا فإن فرق الضغط الاستاتيكي $\Delta P = P_0 - P_i$ عبارة عن فرق

الضغط بين مقدمة ومؤخرة المدخل . ويسمى سريان الهواء الناتج عن فرق الضغط الاستاتيكي عند المدخل نافورة الهواء .

معامل التصريف (Coefficient of Discharge). يعرف معامل التصريف بحاصل ضرب معاملي السرعة والانكماش واللتين تبلغ قيمة كل منهما واحداً صحيحاً أو أقل . ويُحسب معامل السرعة على اعتبار أن سريان الهواء احتكاكي ، كما يحسب معامل الانكماش من انكماش نافورة السريان عند الاختناق . ويعتبر معامل التصريف دالة في كل من نوع الفتحة والتصميم المستخدم ، ويجب حسابه تجريبياً لكل نوع من أنواع فتحات الهواء .

ويجب توخي الحذر عند اختيار قيمة هذا المعامل أثناء تصميم نظام للتهوية . وهناك احتمال ظهور أخطاء جذرية إذا كان هذا المعامل لا ينطبق على تصميم معين لفتحة تهوية . وأحد الأرقام المقترحة لمعامل الانكماش بالنسبة لفتحة طويلة وضيقة ٠,٦ . ويوصى باستخدام معامل تصريف مقداره ٠,٨ ، بالنسبة للفتحات المعلقة ، حيث سريان الهواء النقي يمر فوق قمة الحائط الخارجي ، ثم يتم توجيهه بعد ذلك إلى أسفل السطح الداخلي لنفس الحائط . ويتم خفض معامل التصريف إلى ٠,٥ ، بالنسبة للحالة التي يتم فيها إحضار الهواء من الخارج فوق قمة الحائط مع تغيير وتوجيه الهواء إلى وسط السقف . وقد وجد بالدراسة التي أجريت على فتحة مركزية موجودة بوسط السقف أن معامل التصريف يتأثر بقوة بالشكل الهندسي للفتحة . وتتراوح قيم هذا المعامل من ٠,٢ إلى ٠,٨ ، وتعتمد أساساً على النسبة بين عرض فتحة التهوية إلى العرض المار فيه الهواء من السقف إلى الحيز الهوائي بين السقف والسطح الخارجي للمبنى (العلية) . وقد أوضحت دراسة باستخدام التمثيل الرياضي على فتحات التهوية أن قيمة معامل التصريف ٠,٤ . ويمكن حساب معامل التصريف عند تولد نافورة هواء حرة من فتحة مستطيلة أو دائرية عن طريق استخدام الطريقة البيانية .

سرعة الهواء عند المدخل (Inlet Velocity). من المرغوب والمعتول أن تكون سرعات الهواء مرتفعة خلال فتحات التهوية ، وذلك بالنسبة للتهوية في كل من الأجواء الباردة والحارة . فتؤدي سرعات الهواء العالية إلى إحداث دوامات ،

وعملية خلط سريعة قرب النافورة المتكونة بالنسبة للهواء الداخل، وكذلك تتولد نماذج دائرية ذات أحجام كبيرة للهواء من خلال الحيز المهوي. وتتراوح سرعات الهواء النموذجية الداخلة من ٥، ٢ إلى ٥ (م/ث). ويزداد فرق الضغط الاستاتيكي المطلوب لزيادة السرعة إلى أعلى من ٥ (م/ث)، وذلك بالنسبة للمراوح الرفاصة (propeller).

وهناك سبب آخر مهم للحصول على سرعة عالية للهواء بالإضافة إلى عملية الخلط الجيد وإحداث الدوامات. فيمكن عند الاحتفاظ بسرعة مرتفعة نسبياً المحافظة على فرق ضغط استاتيكي وكاف، وذلك كما في المعادلة رقم (٣، ٣). وفي الغالب يعتبر استخدام فرق ضغط مقداره من ١٠ إلى ٣٠ باسكال كافياً لمنع حدوث تأثير جوهري للرياح. فقد تصبح الرياح - حتى ولو كانت خفيفة - قادرة على سحب الهواء إلى خارج المبنى من خلال المداخل إذا كان فرق الضغط أقل من ١٠ باسكال. وقد يحدث ذلك عند فرق ضغط ١٠ باسكال مع سرعة رياح منخفضة من ١٥ - ٢٠ (كم/ساعة). وقد لا يتوافق هذا الوضع إطلاقاً مع أساليب التهوية الجيدة.

تصميم مداخل الهواء - الطريقة المبسطة

(Slotted Inlet Design, the Simplified Approach)

تعتمد الطريقة المبسطة على استخدام معادلة الاستمرار فقط في التصميم، ومن ثم يعتمد التصميم اعتماداً كبيراً على الاختيار السليم لمعامل التصرف وفرق الضغط الاستاتيكي المفروض بالنسبة للدقة المطلوبة.

مثال رقم ١ : نفترض وجود حظيرة ماشية حلابة تحتوي على ١٠٠ بقرة بمتوسط وزن ٥٥٠ كجم، ويتم التهوية باستخدام نظام ضغط سالب. وتوجد فتحات للتهوية على جانبي الحظيرة بطول ١٤٠ (م). احسب عرض فتحة التهوية المطلوب عند فرق ضغط ١٠ باسكال لإحداث معدل تهوية مقداره ١٥، ٠ (م^٣/ث) لكل ٥٠٠ كجم من وحدات الأوزان الحيوانية.

الحل . نفترض بالنسبة لهذا المثال أن هواء التهوية يُحسب من خلال الفتحات المخططة للاستخدام . وعلى هذا فإن معدل التهوية الكلي :

$$Q_g = (100)(550/500)(0.15) = 16.5 \text{ m}^3/\text{s} \quad (3, 8)$$

ويمكن فرض معامل تصرف ٨, ٠ ، نظراً لأن نظام الفتحة من النوع المفصلي، وأن :

$$Q_i = 16.5/0.8 = 20.6 \text{ m}^3/\text{s} \quad (3, 9)$$

ونجد بفرض كثافة للهواء عند الظروف القياسية ١, ٢ (كجم/م^٣) أن :

$$V_i = [(2)(10)/1.2]^{0.5} = 4.1 \text{ m/s} \quad (3, 10)$$

إذن العرض المطلوب للفتحة التي طولها ١٤٠ (م) :

$$W = 20.6/(140)(4.1) = 36 \text{ mm} \quad (3, 11)$$

ويكون معدل سريان الهواء المنتبأ به خلال المدخل ١٦, ٥ م^٣/ث (١٢, ٠ . م^٣/ث لكل متر طولي من الفتحة)، وذلك بفرض عرض فتحة المدخل ٣٦ م و فرق ضغط ١٠ باسكال .

تصميم مداخل الهواء - طريقة أداء النظام

(Slotted Inlet Design, System Performance Technique)

منحنيات الأداء (Performance Graphs). لم تؤخذ تفاعلات مراوح التهوية مع مداخل الهواء في الاعتبار في طريقة تصميم المدخل التي تمت مناقشتها سابقاً . فيحتفظ أي نظام تهوية بنوع من الاتزان إذا كان سريان الهواء خلال المراوح يعادل سريان الهواء عند المداخل . ويمكن تحديد نقطة الاتزان على أنها الحالة التي يتساوى عندها فرق الضغط حول المروحة مع فرق الضغط عند المدخل مع تساوي معدل السريان .

وسوف يكون لكل نظام من المراوح المنحنى الخصائصي لسريان الهواء الخاص به مع اعتبار سريان الهواء دالة في فرق الضغط الاستاتيكي . ويوضح كل منحنى أيضاً أقصى معدل سريان عندما لا يكون هناك أي فرق للضغط (ظروف هوائية

حررة). وقد يصل المنحنى إلى النقطة حيث لا يوجد سريان للهواء عند بعض فروق الضغوط بالنسبة للضغط المختصرة أو المختزلة. ويقع مدى الضغوط المختصرة بالنسبة للمراوح المحورية التي تستخدم للتهوية في المنشآت الزراعية من ١٠٠ إلى ١٥٠ باسكالاً.

وقد يعمل نظام مدخل الهواء بنظام متعاكس. فبينما لا يوجد أي سريان للهواء عند صفر فرق ضغط، نجد أن سريان الهواء يتزايد - بمعدل متناقص - مع زيادة فرق الضغط. ويتقاطع رسم منحنيين وخصائصهما على نفس المحاور في نقطة واحدة. وتعتبر نقطة التقاطع هي نقطة التشغيل التي تحدد معدل التهوية وفرق الضغط الناتج من نظام التهوية.

ويعد من أحد مميزات استخدام طريقة تصميم أداء النظام أنه لا توجد أي فروض خاصة بأخذ فروق الضغوط في الاعتبار. فقد تم بالنسبة لمعادلة الاستمرار فرض فروق ضغط استاتيكية قبل البدء في التصميمات. ويتم الأخذ بالفروض سواء كان نظام المروحة المركب سوف يتيح استخدام معدل التهوية عند الضغط الاستاتيكي المفروض أم لا.

ويعتبر فهم ديناميكية النظام والتي يمكن اكتسابها من رسم منحنيات الخصائص للأنظمة المختلفة هو الميزة الثانية لهذه الطريقة. فنجد عند استخدام المنحنيات الخاصة بأي نظام إمكانية رؤية مدى ارتباط تأثيرات التغيير في المداخل والمراوح على كل من المروحة وفرق الضغط الاستاتيكي.

وقد تم تطوير طريقة خصائص النظام بالنسبة للتطبيق على نظم التوزيع الخاصة بكل من مروحة - ماسورة^(٨). ولكن نجد من وجهة نظر النظم تشابه التهوية بكل من مداخل الهواء في نظام مروحة - ماسورة. ويتم إتاحة مقاومة السريان باستخدام حواجز عند المدخل بدلاً من الماسورة، وكذلك يتم استعمال عدة مراوح على التوازي بدلاً من استخدام مروحة واحدة. ويلاحظ أنه يتم الحصول على نفس الوظائف بنفس الإنجازات، ولكن قد يكون الفرق نتيجة اختلاف بعض العناصر.

ويجب أن تكون البيانات الخاصة برسم أداء المروحة متوافرة لدى المصنع الذي سيتم بواسطته تركيب نظام أو نظم التهوية. والاحتياط الوحيد الواجب أخذه في

الاعتبار هو تطابق البيانات المنشورة مع بيانات المروحة عند التركيب . ويعني ذلك تطابق البيانات بعد الانتهاء من كل التركيبات مع الأخذ في الاعتبار لفواقد التشغيل .

وتتوافر حالياً بيانات لرسم خصائص المداخل الخاصة بالفتحات المفصلية والمحيطية^(٢) والمستوية والفتحة المستوية بوسط السقف^(٣) . ويمكن إنشاء مداخل الفتحات المفصلية بإحدى طريقتين . وعامة في كلتا الحالتين، يتم إحضار الهواء النقي إلى أعلى السطح الخاص بالخائط الخارجي، الشكل رقم (١ ، ٣) . ويمكن أن تتصل بوابة التهوية إما بالسقف أو بالخائط كما هو موضح بالشكل . فيتم دفع الهواء في حالة توصيل البوابة بالخائط من خلال دوران إضافي عبر السقف . ويمكن - إذا كان سريان الهواء ملاصقاً إلى الخائط - حساب معدل السريان لكل متر طولي من الفتحة كالتالي :

$$Q_g/l = 0.0012 (W)^{0.98} (\Delta P)^{0.49} \quad (٣ ، ١٢)$$

حيث :

$$Q_g : \text{م}^3/\text{ث}$$

W : عرض الفتحة ، م .

ويكون معدل السريان في حالة توجيه الهواء ليمر عبر السقف كالآتي :

$$Q_g/l = 0.00071 (W)^{0.98} (\Delta P)^{0.49} \quad (٣ ، ١٣)$$

ويبدو أن الانخفاض في معدل التهوية راجع إلى الدوران الإضافي للهواء في المسار الخاص به .

ويمكن وصف سريان الهواء من الفتحة المستوية بوسط السقف كالتالي :

$$Q_g/l = 0.0013 (W)^{0.98} (\Delta P)^{0.49} (Bs/b)^{0.08} [-0.867 (W/b)] \quad (٣ ، ١٤)$$

حيث :

Bs : عرض الفتحة خلال السقف إلى الحيز أعلى السقف ، م

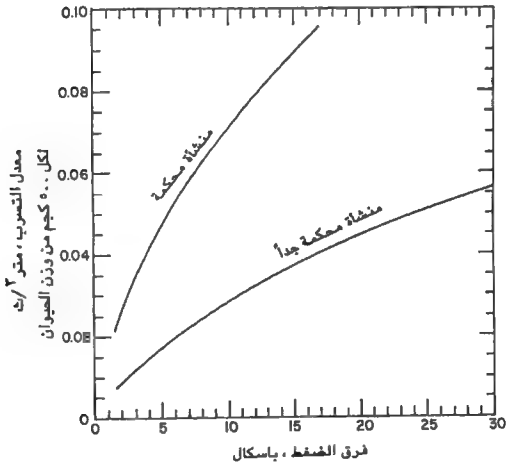
b : عرض البوابة ، م

ويعتبر معدل تسرب الهواء كدالة في فرق الضغط هو المتغير الأخير المطلوب لاستخدام طرق تصميم خصائص النظام. ويوضح الشكل رقم (٢, ٣) البيانات الوحيدة المتاحة حالياً بالنسبة لمعدلات التسرب^(١). ويمكن التعبير عن تلك البيانات في صورة معادلات. فيمكن تمثيل البيانات لكل منشأة شديدة الإحكام بواسطة المعادلة التالية:

$$(٣, ١٥) \quad Q_a \text{ (per 500 Kg animal unit)} = 0.006 (\Delta P)^{0.67}$$

ويمكن تمثيل المعادلة الخاصة بالمنشأة الزراعية للحكمة بواسطة المعادلة التالية:

$$(٣, ١٦) \quad Q_a \text{ (per 500 Kg animal unit)} = 0.017 (\Delta P)^{0.67}$$



شكل (٢, ٣). معدلات التسرب كدالة في فرق الضغط بالنسبة لثلاث حظائر حليب بولاية بنسلفانيا.

مثال رقم ٢ (عن استخدام خصائص النظام):

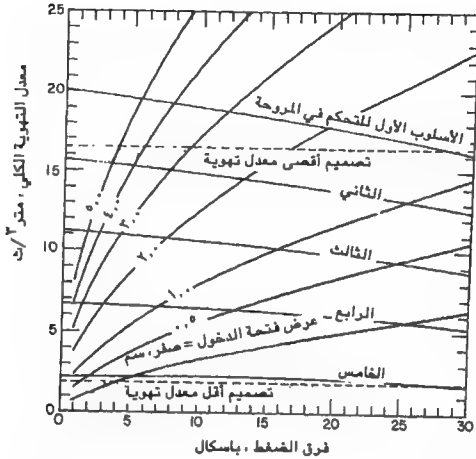
استكمالاً للمثال السابق والخاص بتصميم حظيرة ماشية، سيتم إعادة تحليل نظام المدخل باستخدام خصائص النظام. نفترض أن البوابة الهوائية من النوع المفصلي مع سريان للهواء ملاصق للحائط. فيكون معدل السريان الكلي من خلال المداخل السابقة التخطيط أو غير المخططة بالنسبة لـ ١١٠ وحدات حيوانية و ١٤٠ مترًا طوليًا للفتحة كالتالي:

$$Q_g = 0.161 (W)^{0.98} (\Delta P)^{0.49} + 0.66 (\Delta P)^{0.67} \quad (١٧, ٣)$$

وقد رُسمت هذه المعادلة في الشكل رقم (٣، ٣) بالنسبة لأعراض مداخل مختارة عند مدى من الضغوط الهوائية تحدث في الغالب في معظم تطبيقات تهوية الحظائر.

وحتى يكتمل الشكل رقم (٣، ٣)، فإنه لا بد من فرض البيانات الخاصة بعمل المراوح. وقد يتطلب هذا الأمر تخطيطاً ابتدائياً لتحديد النظام التجريبي للمراوح وأجهزة التحكم اللاحقة بها. فنفترض بالنسبة لهذا المثال أنه من المرغوب الحصول على تصميم لأقصى معدل تهوية ١٦,٥ (م³/ث) باستخدام أربعة مراوح (٩، م - ٣٧٣ واط) ومروحة مفردة (٦، م - ٢٤٨ واط) تعمل باستمرار في سحب الهواء من مستوى الأرضية للمبنى. ويتم التحكم في كل المراوح باستخدام أداة تنظيم الحرارة آلياً (الثرموستات)، ويتم تجميعها في مستودع واحد في وسط أحد الحوائط الطولية. ويتم أيضاً التحكم في المراوح ذات الأحجام الكبيرة كل على حدة، فتعمل مروحة واحدة واثنان وثلاث وأربع في وقت محدد يتوقف على درجة الحرارة داخل الحظيرة. ويوضح الشكل رقم (٣، ٣) الأساليب الخمسة لتشغيل المراوح عند فرض البيانات الخاصة بالأداء. والأساليب الخمسة لتشغيل المراوح هي: ١- كل المراوح تعمل. ٢- ثلاث مراوح (٩، م) مع مروحة (٦، م). ٣- مروحتان (٩، م) مع مروحة (٦، م). ٤- مروحة (٩، م) مع مروحة (٦، م). ٥- فقط تعمل المروحة (٦، م).

ويمكن من أول نظرة رؤية عدد من الملاحظات على الشكل رقم (٣، ٣). أولاً: يمكن الحصول على معدل التهوية بالنسبة لفصل الصيف بخلق الفتحات الأقل



شكل (٣، ٣). مثال عن تصميم فتحة مدخل، منحنيات خصائص النظام

من ٢٠ م مع وجود فرق ضغط بسيط. ويمكن استخدام القيمة للحسوبة سابقاً - عرض من ٣٠ إلى ٤٠ م لفتحة الدخول - باستخدام المراوح في الأسلوب ١، مع أن فرق الضغط في تلك الحالة سيصبح ١٠ باسكال ومعدل التهوية ١٩ (م³/ث) تقريباً. ولكن قد يكون من المرغوب استخدام فتحة ذات عرض أقل. وفي الحقيقة مازال معدل التهوية حتى عند عرض ٢٠ م يعتبر أكبر من أقصى معدل تم حسابه. وقد تكون السرعة العالية المتولدة من هذا المعدل المرتفع ذات نفع، حيث يتم الحصول على خلط سريع للهواء مما يساعد على توفير معدل راحة أكبر للحيوانات.

ويغض النظر عن فتحة الدخول، فإن من خصائص الشكل البياني توضيح المشاكل المؤثرة والمتولدة عن الفترات الباردة عند تشغيل المراوح على الأسلوب ٥.

فقد تحدث التهوية نتيجة التسرب بمعدل مؤثر، حتى ولو كانت فتحة التهوية محكمة الغلق، نظراً لتولد فرق ضغط داخلي أقل من ٥ باسكال. ويعتبر هذا الضغط أقل من الموصى به. ولكن قد لا يحدث تسرب لو أمكن تطبيق البيانات الخاصة بالتسرب بالنسبة للمبنى "المحكم"، الذي تم إنشاؤه باستخدام الطرق الإنشائية الحديثة.

ويمكن إلقاء نظرة أخرى على نظام التهوية، وذلك باستخدام خصائص الرسوم البيانية. فيعتبر الأسلوب ٢ للتحكم كافياً حتى لو تم غلق فتحة التهوية إلى ٢٠ أو ٣٠ مم، وذلك باستثناء فصل الصيف. ويعتبر معدل التهوية مع هذا الأسلوب قريباً للمعدل الأقصى، كما يعتبر فرق الضغط جيداً وتكلفة التشغيل منخفضة نتيجة للتوفير في استخدام المروحة الرابعة (٩، م).

وهناك تحذير لابد من أخذه في الاعتبار عند تطبيق طريقة أداء النظام. وفي الحقيقة يطبق هذا التحذير على أي طريقة تستخدم لتصميم مداخل الهواء. فقد كان الفرض الوحيد في الأمثلة السابقة هو أن الإعاقة لسريان الهواء تحدث فقط عند بوابة دخول الهواء. ولكن هناك إعاقات أخرى يمكن أن تحدث وخاصة بالنسبة للبوابة المفصلية، فمثلاً قد تصبح المعادلتان رقماً (١٢، ٣) و (١٣، ٣) غير صالحتين للاستخدام عند حدوث أي إعاقه لسريان الهواء عند قمة السطح للحائط الخارجي. ولكي نتوخى الحذر، يجب أن تكون أقرب نقطة عند سطح السريان العلوي تعادل - على الأقل - ثلاث أمثال عرض فتحة المدخل. وقد تؤدي مسافات أخرى إلى زيادة معوقات حركة الهواء، خاصة لو كان أقل عرض لسريان الهواء أقل من ضعف عرض المدخل.

وأخيراً، نجد من المفيد أن نرى التغيرات على معدل التهوية وفرق الضغط وذلك عند تشغيل المراوح بأساليب مختلفة وعند غلق وفتح المداخل. وتعتبر المنحنيات وخصائصها نقطة بداية جيدة لتطوير عمليات تشغيل النظام والتحكم في كل من المداخل والمراوح. فيمكن باستخدام الحواسيب الآلية الصغيرة - خاصة تلك التي لها المقدرة على رسم المنحنيات على الإحداثي (X-Y) - رسم المنحنيات الخصائصية لأساليب العمل المختلفة.

تصميم ماسورة التهوية (Ventilation Duct Design)

يعتبر الحصول على توزيع منتظم لمعدل الهواء المار بطول الماسورة المطلوب الأساسي في تصميم ماسورة ذات مقطع ثابت. ونظراً للسلوك التابع من الظواهر الطبيعية للضغط الاستاتيكي خلال ماسورة، فإنه يمكن الحصول على معدل تصرف متنسق للهواء بإحدى ثلاث طرق: (أ) تغيير مساحة تصرف الهواء بطول الماسورة. (ب) تغيير درجة خشونة سطح الماسورة. (ج) تقليل النسبة بين مساحة التصرف الفعلية ومساحة مقطع الماسورة. وتؤدي الطريقة الأخيرة إلى زيادة الضغط الاستاتيكي في الماسورة. وتعتبر الطريقة الأولى أكثرهم شيوعاً واستخداماً من الناحية العملية. وقد تم أيضاً تطوير برنامج حاسوب آلي لإيجاد توزيع الضغط الاستاتيكي في ماسورة ذات مقطع ثابت، ومن ثم حساب تصرف الهواء بطول الماسورة.

علاقات أساسية لنافورات هواء التهوية

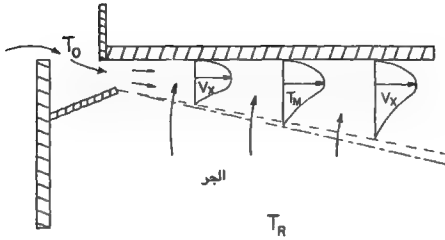
(BASIC RELATIONSHIPS FOR VENTILATION AIR JETS)

يجب على المصمم - لكي يحصل على توزيع جيد للهواء التهوية- فهم سلوك سريان نافورة الهواء، وكيفية تأثير هذا السلوك على توزيع الهواء بعيداً عن المدخل.

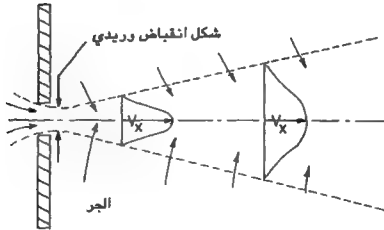
نوع النافورة (Jet Type)

يوجد نوعان من نافورات الهواء التي تستخدم في تهوية المباني الزراعية، كل منهما له خصائصه الديناميكية المختلفة. ويطلق على النوع الأول النافورة الحائطية، حيث تتولد من اندفاع الهواء من المدخل الذي يحتوي على حافة واحدة ومروره ملاصقاً إلى حائط أو سقف. ويتولد هذا النوع من النافورات مع المداخل التي من النوع الموضح في الشكل رقم (١، ٣). ويوضح الشكل رقم (٤، ٣) الشكل الخصائص أو توزيع السرعات بالنسبة لنافورة الحائط.

ويطلق على النوع الثاني من النوافير التي لا تتأثر بأي حافة صلبة بالنافورة الحرة، الشكل رقم (٥، ٣). ويمكن أن تصبح النافورة الحرة ملاصقة لأي حافة



شكل (٤, ٣). نافورة حائط مع توزيعات السرعة ودرجات الحرارة المتولدة



شكل (٥, ٣). نافورة حرة على شكل انقباض وريدي، أشكال السرعة والسحب.

صلبة على بعد معلوم من المدخل، وبذلك تأخذ خصائص نافورة الحائط.

وتتلاشى الطاقة الحركية للنافورة الهواء بدخول النافورة إلى حيز التهوية نتيجة لسحب هواء الحجرة إلى النافورة. ويحتفظ سريان النافورة بقوة الدفع ويزداد حجم سريان الهواء في النافورة بازدياد بُعد المسافة من المدخل. وتعرف النسبة بين معدل سريان حجم النافورة عند مسافة معلومة من المدخل ومعدل السريان عند المدخل نفسه بنسبة السحب أو الجر. وفي الغالب تكون نسب السحب المرتفعة مرغوبة، حيث توضح عملية خلط ودوران جيدين للهواء خلال حيز التهوية.

وتتناقص أقصى سرعة للنافورة، والتي تقاس في مستوى متعامد على اتجاه السريان مع ازدياد بُعد المسافة عن فتحة التهوية. ويعتبر الهواء ساكنًا عندما تنخفض السرعة إلى ٣، ٠ (م/ث) حيث يتم خلط هواء التهوية مع هواء الحجرة ويتحرك المخلوط بفعل تيار الحمل إلى المروحة.

نوافير الهواء ذات درجات الحرارة الثابتة والمتغيرة

(Isothermal and Nonisothermal Jets)

يمكن تقسيم نوافير الهواء أيضًا من حيث إنها ذات درجات حرارة ثابتة أو متغيرة. وتعتبر النافورة ذات درجة حرارة ثابتة إذا كانت درجة حرارة الهواء عند المدخل في حدود ٥°م من درجة حرارة الهواء الداخلية.

وقد لا يتوافق توزيع درجات الحرارة بالنسبة للنافورة ذات درجة الحرارة المتغيرة مع توزيع السرعات؛ ويتسع الفارق كلما بعدت النافورة عن المدخل، وذلك كما في الشكل رقم (٤، ٣). ولا يعتبر هذا الاختلاف من العوامل الحرجة في تصميم نظم التهوية، ولكن يجب أخذها في الاعتبار عند حساب تأثير البرودة - ولو بدرجة ضئيلة - على شاغلي حيز التهوية.

مناطق النوافير (Jet Zones)

يمكن تمييز أربع مناطق رئيسية للنوافير بطول اتجاه النافورة :
منطقة رقم ١ : تمتد نحو أربعة أضعاف القطر أو العرض بالنسبة لفتحات

الخروج المستطيلة ، وتبقى السرعة في هذه المنطقة تقريباً ثابتة .

منطقة رقم ٢ : تعتبر منطقة تحوّل تمتد إلى نحو ثمانية أضعاف القطر بالنسبة للفتحات الدائرية والفتحات المستطيلة ذات نسب التشكل المنخفضة من (الطول / العرض) . وتمتد هذه المنطقة بالنسبة للفتحات المستطيلة ذات النسب المرتفعة إلى مسافة تساوي تقريباً العرض مضروباً في أربع مرات نسبة التشكل . وتتغير أقصى سرعة في هذه المنطقة تغيراً عكسياً مع الجذر التربيعي للمسافة من المدخل .

منطقة رقم ٣ : وتسمى منطقة السريان المضطرب وفيها تتغير أقصى سرعة عكسياً مع بُعد المسافة عن المدخل .

منطقة رقم ٤ : منطقة حرارية تتناقص عندها أقصى سرعة تناقصاً حاداً إلى المدى المنخفض للهواء خلال مسافة تعادل عدة أقطار المروحة .

علاقات نظرية لنوافيرالهواء (Theoretical Relationships for Jets)

نوافير حرة مستديرة (Round Free Jets) . يمكن تقريب توزيع السرعة بالنسبة للنافورة الحرة المستديرة باستخدام علاقة التوزيع الطبيعي^(١٣) التالية :

$$v/v_x = e^{-\alpha r^2} \quad (١٨ , ٣)$$

حيث :

α : ثابت بالنسبة لتوزيع محدد

v : تمثل السرعة عند مسافة (r) من مركز النافورة

v_x : السرعة المتبقية .

ويلاحظ أنه لا يمكن تمييز أشكال توزيع السرعات عن بعضها البعض عند الرسم في أشكال نسبية على مسافات متغيرة . ونظراً لتماثل أشكال توزيع السرعات ، فإن قوة دفع النافورة تكون كالتالي :

$$M_{mx} = 2\pi(\rho) \int_0^\infty r(v)^2 dr \quad (١٩ , ٣)$$

ويستج بتجميع المعادلتين رقمي (٣, ١٨) و (٣, ١٩) وإجراء التكامل ما يأتي:

$$(٣, ٢٠) \quad M_{mx} = \pi(\rho)(V_x)^2/2\alpha$$

وتكون قوة الدفع عند الفتحة:

$$(٣, ٢١) \quad M_m = \rho(A_g)(V_i)^2$$

ويستج بمساواة المعادلتين رقمي (٣, ٢٠) و (٣, ٢١) مع فرض الاحتفاظ بقوة الدفع في حالة النافورة الحرة ذات درجة الحرارة الثابتة:

$$(٣, ٢٢) \quad V_x / V_i = [2 \alpha A_g / \pi]^{0.5}$$

ونظراً لتماثل أشكال السرعة، فإن:

$$(٣, ٢٣) \quad r_{0.5} = X \tan \theta$$

وتكون $(r_{0.5})$ المسافة من مركز النافورة إلى حيث $V = V_x / 2(A)$ ، وتمثل تلك النقطة توزيع السرعة:

$$(٣, ٢٤) \quad V/V_x = 1/2 = e^{-B}$$

حيث:

$$-B = \alpha(r_{0.5})^2$$

ويستج التعبير التالي للسرعة المتبقية (V_x) عند تعويض المعادلة رقم (٣, ٢٣) في المعادلة رقم (٣, ١٨) وإيجاد (α) باستخدام التعبير في المعادلة رقم (٣, ٢٤) مع قيمة L (θ) مقدارها خمس درجات (١٣):

$$(٣, ٢٥) \quad V_x/V_i = 7.6 (A_g)^{0.5}/X = K (A_g)^{0.5}/X$$

ويعتمد هذا الاستنتاج على السريان غير اللزج، وعلى الثابت (K) الذي وجد بالتجربة أنه ينحرف قليلاً عن القيمة النظرية (٦, ٧).

ويمكن إيجاد السريان الحجمي الكلي للهواء عند عدة مواضع لسريان النافورة باستخدام المعادلة التالية:

$$(٣, ٢٦) \quad Q_x = 2\pi \int_0^\infty r(V) dr$$

وبما أنه يمكن الحصول على السريان الكلي للهواء عند المدخل من :

$$(٣, ٢٧) \quad Q_a = A_a(V_i)$$

وعلى ذلك تكون نسبة السحب :

$$(٣, ٢٨) \quad Q_x/Q_a = 2(V_i)/V_x$$

نافورة حرة متولدة من فتحة طويلة

(Free Jet Issuing From a Long Slot)

يمكن استعمال التعبير التالي لتوزيع السرعة عند استخدام نفس التحليل السابق بالنسبة لنافورة متولدة من فتحة طويلة ذات عرض (W) :

$$(٣, ٢٩) \quad V_x / V_i = 2.76 (W/X)^{0.5}$$

وتكون نسبة السحب :

$$(٣, ٣٠) \quad Q_x/Q_a = (2V_i)^{0.5}/V_x$$

نوافير حرة (Free Jets)

السرعة المتبقية - قذفة وسحب

(Residual Velocity, Throw and Entrainment)

يمكن تحديد السرعة المتبقية (V_x) عند مسافة (x) بالأمتار بالنسبة للمناطق الثانية والثالثة من المداخل الدائرية والمربعة أو المستطيلة ، حيث قلب السريان يتكون في شكل دائرة أو في شكل بيضاوي على الترتيب كالآتي :

$$(٣, ٣١) \quad V_x = V_i (K(A_i)/X)^{0.5}$$

$$(٣, ٣٢) \quad V_x = V_i K(C_d A_a)^{0.5}/X$$

حيث :

A_a : مساحة المدخل ، م^٢

K: ثابت، يستتج بالتجارب.

وتعتبر المعادلة رقم (٣, ٣٢) مشابهة للمعادلة رقم (٣, ٢٥) باستثناء الفرق في الشكل. وتتراوح قيم K من ٥, ٧ بالنسبة للمداخل المستديرة والمربعة إلى ٩, ٤ بالنسبة للمداخل المستطيلة ذات نسب التشكل الكبيرة^(٥)، وذلك عند سرعات للمدخل من ٥, ٢ إلى ١, ٥ (م/ث). ويمكن اعتبار نسب التشكل الأكبر من $166/K^2$ كبيرة. وتتمثل امتدادات مسافة المنطقة ٢ إلى الخارج من المدخل بالنسبة لكل من المداخل المربعة والمستديرة، ولكن تتزايد بزيادة نسبة التشكل بالنسبة للمداخل المستطيلة. وتمتد منطقة ٢ من نحو أربع إلى ثمان مرات القطر بالنسبة للمخارج المستديرة والمربعة والمستطيلة، وذلك عند نسب تشكّل منخفضة. وتمتد منطقة ٢ - بالنسبة للمخارج المستطيلة ذات نسب تشكّل كبيرة - من ٤ مرات العرض إلى مسافة تعادل تقريباً حاصل ضرب ٤ مرات العرض في نسبة التشكّل. ويمكن تحديد السرعة عند المداخل المستديرة والمربعة أو المستطيلة كالآتي:

$$V_i = Q_a / (A_a C_d) \quad (٣, ٣٣)$$

ويتم حساب السرعة باستخدام المعادلة رقم (٣, ٢٩) بالنسبة للنوافير المتولدة من فتحات طويلة حيث لا يشكل سريان الهواء في قلب النافورة أيًا من الشكّلين الدائري أو البيضاوي. ويمكن الحصول على نسب السحب في منطقة ٣ بالنسبة للنوافير الدائرية والمداخل الطويلة باستخدام المعادلتين رقمي (٣, ٢٨) و (٣, ٣٠) على الترتيب. وتوضح كل من معادلتَي السحب بالنسبة لمعدل سريان معلوم، أن نسبة السحب عند مسافة معلومة من المدخل تتزايد مع السرعة عند المدخل. وتساعد السرعات العالية على الخلط السريع للهواء النافورة مع هواء الحجرة.

وتعرف قذفة النافورة على أنها المسافة (X) التي تتحركها النافورة من المدخل بعد تكونها وقبل أن تصل إلى سرعتها الثابتة. ويمكن إيجاد هذه المسافة باستخدام المعادلات الخاصة بالسرعة المتبقية.

وتتراوح زوايا انحراف النوافير الحرة عند دخول حيز كبير من ٢٠ إلى ٢٤° م. ويلاحظ أن دخول هواء بارد إلى حيز دافئ يؤدي إلى حدوث انخفاض في السرعة، وذلك نتيجة لزيادة الكثافة، ولكن يمكن إهمال هذه الظاهرة في معظم الحالات عند

استخدام سرعات متوسطة للهواء عند المدخل .

مثال رقم ٣: هواء تهوية يخرج من فتحة قطرها ٠,٦٤ (م) إلى ماسورة تهوية بمعدل ٠,٠٩٤ (م^٣/ث) . احسب السرعة المتبقية ونسبة السحب عند مسافة ٣ (م) من المدخل ؟ احسب أيضاً مسافة القذف بالنسبة لسرعة متبقية مقدارها ٣ (م/ث) (هواء ساكن)، وذلك بفرض معامل تصرف ٠,٧ ؟

الحل .

(٣, ٣٤)

$$V_i = 0.0094 / (\pi \times 0.064^2 / 4) \times 0.7 = 4.17 \text{ m/s}$$

وحيث أن المدخل مستدير و $V = K, 0.5$ ، إذن

(٣, ٣٥)

$$V_x = (4.17)(5.7) [(0.7) (\pi \times 0.064^2 / 4)]^{0.5} / 3 = 0.38 \text{ m/s}$$

(٣, ٣٦)

$$Q_x / Q_a = (4.17)(2) / 0.38 = 22$$

(٣, ٣٧)

$$X = (4.17) (5.7) [0.0023]^{0.5} / 0.3 = 3.8 \text{ m}$$

نوافير حائطية (Wall Jets)

السرعة المتبقية، قلفة وسحب

(Residual Velocity, Throw and Entrainment)

يحدث السحب بالنسبة لنافورة حائط فقط من المدخل بطول السطح الحر المعرض للنافورة . ويمكن استخدام المعادلتين رقمي (٣, ٣١) و (٣, ٣٢) لإيجاد السرعة المتبقية لنافورة حائط مع نسبة تشكل أقل من ٤٠ ، وذلك بطول أسطح ناعمة مع قيمة K مضروبة في ١٤، ١^(٥) . ويمكن تطبيق المعادلة رقم (٣, ٣٠) لإيجاد نسبة السحب على نافورة الحائط . وهناك معادلة تجريبية يوصي باستخدامها بالنسبة للسرعة المتبقية لنوافير الحائط والمتولدة من فتحات طويلة حيث السريان البعيد عن المخرج لا يكون شكل قلب يضاوي أودائري^(١١):

$$V_x = K^1 V_a [W/x]^{0.5} \quad (٣, ٣٨)$$

حيث:

$$K^1 = 3.58 - 0.104 \Delta T \quad (٣, ٣٩)$$

$$\Delta T = (\text{درجة حرارة هواء الغرفة} - \text{درجة حرارة هواء النافورة}), \text{ م}^{\circ} \quad (٣, ٤٠)$$

تأثير حدود الإنشاء (Effect of Boundary Construction)

تعتبر معظم الأسطح التي تمر فوقها نوافير حائطية من فتحات طويلة أسطح غير ناعمة. ويمكن إيجاد قيم ثوابت المعادلات التالية بالنسبة لأنواع مختلفة من أسقف الإنشاءات. ويوضح الجدول رقم (١, ٣) تلك القيم.

$$V_x/V_a = K [W/x]^{0.5} \quad (٣, ٤١)$$

$$Q_x/Q_a = C [V_a/V_x] \quad (٣, ٤٢)$$

تأثيرات درجات الحرارة (Temperature Effects)

تعتبر النوافير الحائطية ذات درجات الحرارة المتغيرة شائعة الحدوث في التهوية الزراعية. ويفترض وجود تأثيرات طفيفة - وإن كانت معنوية - في الهواء البارد المار على النوافير الحائطية^(١٤). ويعتبر ذلك حقيقياً وخاصةً عند سرعات دخول للهواء أكبر من ٢, ٤ (م/ث). ويعتبر مدى توزيع درجات الحرارة بالنسبة لنوافير الحائط عند مسافات محددة من المدخل أكبر من توزيع السرعة، مثله مثل النوافير الحرة.

وتزداد نسبة سحب الهواء الجوي في نافورة الحائط الباردة نتيجة استخدام سرعة هواء مرتفعة عند المدخل^(١٥). وقد يؤدي ذلك إلى تكثيف النافورة وانخفاضها بمعدل سريع، وبالتالي تقليل احتمال إصابة شاغلي حيز التهوية بالبرودة. وهناك معادلة تستخدم للتنبؤ بأقل درجة حرارة لنافورة حائط عند مسافة x من المدخل^(١٦):

$$T_m = (T_o - T_r) 0.587 (Re_i^{0.224}) (X/W)^{-0.6} + T_r \quad (٣, ٤٣)$$

جدول (٣، ١). السرعة المتبقية وثوابت السحب بالنسبة لنوافير حائطية تمر فوق أسقف غير ناعمة.

نوع السقف	K	C
ذوشقوق ١,٩ × ٣,٢ سم	٢,٧٣	١,٩٢
ذوشقوق ١ × ٣,٢ سم	٣,٦٥	١,٨٧
تعاريج ٣,٢ سم، موازي للسريان	٣,٦٠	١,٤٣
تعاريج ٣,٢ سم، متعامد على السريان	٣,١٠	١,٤٣
تعاريج ٦,٤ سم، موازي للسريان	٣,٨٠	٢,٠٥
تعاريج ٦,٤ سم، متعامد على السريان	٢,٦٧	٠,٩٠

(٣, ٤٤)

$$Re_i = w (V_i) / \delta$$

حيث:

$$T_o = \text{درجة حرارة الهواء عند المدخل، } ^\circ\text{م}$$

$$T_r = \text{درجة حرارة الغرفة، } ^\circ\text{م}$$

$$\delta = \text{لزوجة الهواء عند ظروف المدخل، م}^2/\text{ث}$$

وتعمل نافورة الحائط الباردة على تقليل الحرارة المفقودة من خلال الحائط، وذلك عند مقارنتها بحركة الهواء الطبيعية^(١٦). ويرجع السبب في ذلك إلى انخفاض درجة حرارة سطح الحائط الداخلي بواسطة النافورة الباردة. وتعتبر السرعات المنخفضة في تلك الحالات سرعات مرتفعة. ويعرف معامل النقل الحراري الموضعي

بالنسبة لنافورة حائط ذات سرعة منخفضة كالآتي :

$$h_x = 1.114(K/X)R_{ei}^{0.569} (X/w)^{0.35} \quad (٣, ٤٥)$$

حيث :

h_x : معامل النقل الحراري الموضعي، واط/ (م^٢.م).

K : معامل التوصيل الحراري للهواء، واط/ (م^٢.م).

مثال رقم ٤ : احسب السرعة المتبقية وأقل درجة حرارة في نافورة على بعد ١, ٢ م أسفل الحائط من المدخل، وذلك باستعمال المعلومات في المثال رقم ١. افترض أن درجة حرارة الغرفة ٢٠°م ودرجة حرارة الهواء عند المدخل صفر°م.

الحل .

$$V_x = [3.58 - 0.104(20)](4.1)[0.036/2.1]^{0.5} = 0.8 \text{ m/s} \quad (٣, ٤٦)$$

$$T_m = (-20)(0.587)[(4.1)(0.036)/0.000012]^{0.224} (2.1/0.036)^{-0.6} + 20 \quad (٣, ٤٧)$$

$$T_m = 11.6 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (٣, ٤٨)$$

توزيع هواء التهوية

(VENTILATION AIR DISTRIBUTION)

عناصر قياس كفاءة توزيع الهواء

(Parameters Measuring Air Distribution Effectiveness)

عملية الخلط (Mixing) . تحدد كفاءة توزيع الهواء بعملية الخلط الجيد للهواء الداخل إلى حيز التهوية مع الهواء الجوي قبل خروجه من الحيز . ومن الناحية النظرية يجب أن تتم عملية الخلط وخاصة في الشتاء خارج الحيز المشغول سواء بالنسبة للحيوانات أو النباتات . ومن الناحية العملية يجب أيضاً أن تكون الخواص

الطبيعية للهواء الخارج غير مميزة عن الهواء داخل الحيز . وتتضمن الخواص الطبيعية كلاً من : درجة الحرارة والرطوبة وتركيز الأتربة وتركيز الغازات .

سرعة الهواء المتوسطة (Mean Air Velocity) . تعتبر سرعات الهواء العالية نسبياً مطلوبة عند مستوى الحيوان ، وذلك لتساعد على سرعة التخلص من الحرارة المحسوسة خاصة أثناء التهوية في الأجواء الحارة . ويجب في حالة شغل الحيوانات لنسبة صغيرة فقط من حجم المبنى أن يتم توجيه هواء التهوية تحت هذه الظروف إلى الحيوانات مباشرة حتى يتم الحصول على أقصى استفادة .

اتساق سرعات الهواء المتوسطة (Uniformity of mean air Velocities) . يمكن حساب التغيرات التي تحدث لسرعة الهواء داخل المبنى بعدة طرق . وتستخدم إحدى هذه الطرق عن طريق حساب معامل التغير لمتوسط السرعات . وتعتبر القيم المنخفضة لهذا المعامل دليلاً على أن هناك توزيعاً جيداً للهواء بعكس القيم المرتفعة .

اتساق درجة الحرارة (Air Temperature Uniformity) . يمكن اعتبار توزيع درجات الحرارة على نسق واحد في كل من الاتجاهين الرأسي والأفقي أحد عناصر إيجاد كفاءة توزيع الهواء . وقد يزيد تطابق درجات الحرارة داخل المنشأة الزراعية في الأجواء الباردة من معدل الفقد الحراري من خلال سقف أو سطح المبنى . ويعني وجود بقع هوائية سواء كانت باردة أم حارة في المبنى عدم اتساق توزيع درجات الحرارة .

عوامل مؤثرة في توزيع الهواء (Factors in Air Distribution)

هناك عدة عوامل تؤثر على توزيع الهواء . وقد يكون تأثير هذه العوامل في مجمعات متغيرة وعلى درجات متفاوتة . وعلى ذلك يعتبر إلمام وفهم تأثير هذه العوامل مهماً في التصميم ، ومن ثم في إدارة نظم التهوية .

موضع المدخل (Inlet Placement) . أوضحت الأبحاث التي أجريت في وحدة مغلقة للماشية اللحم بعرض ٢١ ، ١٢ (م) مع توزيع للمراوح على حوائط المبنى الجانبية أن الفضل الكبير في زيادة كفاءة توزيع الهواء داخل المبنى يرجع لوجود

مدخل مركزي في وسط سقف المبنى مع وجود حاجز لتوزيع الهواء^(١٧). وقد تم الحصول على أفضل أداء عندما تم دفع ثلاثة أرباع الهواء من فتحة أفقية مثبتة بالقرب من سقف المبنى، أما ربع الهواء المتبقي فقد تم دفعه إلى أسفل بجانب الحوائط^(١٨). وقد تولد ثاني أفضل أداء عندما تم دفع كل الهواء إلى أسفل بجانب الحوائط بسرعة دخول للهواء ٥, ٧ (م/ث).

وقد أوضحت اختبارات أجريت على نموذج مُعدّل أن المداخل ذات الأسطح المثقبة على حائطي الجوانب قد نتج عنها تحسن في توزيع هواء التهوية عن المتحصل منه فيما لو كان المدخل ذو الأسطح المثقبة يقع فقط على الحائط المقابل للمراوح^(١٩).

التسرب (Infiltration). إن معظم - إن لم يكن كل - هواء التهوية يجب أن يمر من خلال المداخل حتى يتم الحصول على نتائج مرضية. ويجب تقليل تسرب الهواء خاصة في نظم الضغط السالبة إلى أقصى حد ممكن. وقد تؤدي عمليات التسرب لكميات كبيرة نسبياً من الهواء إلى داخل المبنى من خلال الشقوق والفتحات في المباني إلى افتقار في الحصول على التوزيع الجيد للهواء. ويمكن أن تتولد أيضاً نفس النتائج السابقة إذا ترك باب المنشأة مثلاً مفتوحاً.

موضع مروحة الطرد (Exhaust Fan Placement). يجب تركيب المراوح حيثما أمكن ذلك على الجانب غير المقابل لاتجاه الرياح الشتوية، وذلك لتقليل تأثير الهواء الخارجي على أداء المروحة. وقد وجد أن عملية تجميع المراوح على أبعاد منتظمة على أحد الحوائط الجانبية، والمداخل ذات الأسطح المثقبة على الحائط الجانبي المقابل قد نتج عنه توزيع ممتاز لهواء التهوية^(١٩). ويجب أن لاتزيد المسافة بين كل مروحة والمروحة المجاورة لها عن ٤٥ متراً أو عن ضعف عرض المبنى.

سرعة الهواء عند المدخل (Inlet Air Velocity). أوضحت إحدى الدراسات التي أجريت على نموذج لمدخل ذي سطح مثقب أن زيادة سرعة الهواء عند المدخل تؤدي إلى زيادة السرعة المتوسطة عند مستوى الطيور. وقد أدى ذلك أيضاً إلى تقليص مساحة الأرضية الشاملة والمعرضة لسرعات تهوية مثلى. وقد وجد أيضاً تزايد حركة الهواء الثانوية مع زيادة سرعة دخول الهواء.

دائرة الهواء المختصرة (Shortcircuiting). تصف دائرة الهواء

المختصرة الوضع الناشئ من وجود مداخل الهواء بالقرب من مراوح الطرد ، حيث يتم سحب هواء التهوية إلى خارج المبنى بدون الحصول على الفائدة الكاملة المرجوة من عملية التهوية . ويمكن تقليل تأثير دائرة الهواء المختصرة بتركيب المراوح على أبعاد لا تقل عن مترين ونصف من مداخل الهواء .

مراوح التقليل (Circulation Fans) . تعني معدلات التهوية المنخفضة المطلوبة في فصل الشتاء إما أن يتم تشغيل المراوح لفترات نسبية قليلة أو استخدام مراوح ذات ساعات منخفضة تعمل طول الوقت . وقد تحدث في أي من الحالتين حركة بطيئة للهواء ، كما قد ينتج أيضاً انحدار في توزيع درجات الحرارة . ويمكن تقليل هذه المشكلة باستخدام مروحة أو مراوح التقليل .

الأرضيات المثقبة (Slotted Floors) . هناك تأثير مؤكد للأرضيات المثقبة على عملية توزيع الهواء . وقد وجد أن عملية توزيع الهواء في أحد نماذج مباني الإنتاج الحيواني تعتمد بالإضافة لعوامل أخرى على المسافة بين الأرضية المثقبة وسطح المخلفات الموجود أسفل الأرضية^(١١) . وقد نتج عن هذا النوع من نظم التهوية رفع للروائح الكريهة - بالإضافة إلى الغازات السامة - من مكان المخلفات إلى بيئة الحيوان . ويمكن حل هذه المشكلة بعمل تهوية منفصلة لمكان تجمع الفضلات الحيوانية تحت سطح الأرضية .

قياس هواء الأرضية

(AIR FLOOR MEASUREMENT)

قياس نوعي (Qualitative)

استشفاف الأدخنة (Smoke Tracers) . تعتبر أجهزة استشفاف الأدخنة مؤثرة وفعالة في معرفة أشكال سريان الهواء في حيز التهوية . وقد وجد أنه من السهل استخدام هذه الأجهزة ، كما أنها متوافرة تجارياً . ويمكن أيضاً استخدام مدخّنات النحل لإيجاد أشكال السريان في أماكن موضعية .

التكثيف (Condensation) . تعتبر عملية تكثيف الماء على أسطح المبنى

الداخلية في الجو البارد من العوامل التي تدل على افتقار التوزيع الجيد للهواء التهوية. ويؤدي خروج هواء التهوية بدون عملية خلط جيد إلى ارتفاع درجة حرارة نقطة الندى للهواء الداخلي، مما يؤدي إلى زيادة احتمال حدوث التكثيف على الأسطح الباردة. ويزيد من احتمال حدوث التكثيف بالطبع عدم استخدام مواد عازلة كافية بالنسبة للحوائط والأسقف والأساسيات والأرضيات.

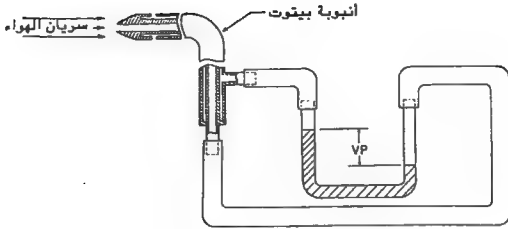
سلوك الحيوانات (Animal Behavior). تبحث الحيوانات الحرة الطليقة داخل المبنى دائماً على أكثر المناطق المريحة حرارياً. وفي الغالب تحاول الحيوانات في الجو الحار التجمع في المساحات ذات تبرعات الهواء العالية. ومن الناحية الأخرى تحاول الحيوانات أن تتجنب هواء التهوية البارد في الظروف الجوية الباردة. أما إذا تعذر على الحيوانات تجنب الظروف الجوية غير الملائمة، فإنها قد تلجأ إلى استخدام ميكانيكية التعويض بزيادة أو تقليل الفقد الحراري من الجسم. ويجب على المربي الماهر أن يتنبه إلى سلوك الحيوانات ومحاولة معرفة السبب في ذلك مع أخذ العديد من الخطوات لتجنبه.

تراكم الأتربة وغيوط العنكبوت (Dust and Cobweb Accumulation). يعتبر تراكم الأتربة وغيوط العنكبوت دليلاً على قلة أو عدم وجود أي حركة للهواء داخل المبنى.

قياس كمي (Quantitative)

تعرف سرعة الهواء بالكمية والاتجاه. ويمكن قياس تلك السرعة باستخدام العديد من أجهزة القياس. ومعظم هذه الأجهزة ذات طابع اتجاهي، بحيث يجب توجيه الجهاز بعناية بالنسبة لاتجاه سريان الهواء، وذلك للحصول على أقصى قراءة.

أنبوبية "بيتوت" (Pitot Tube/Manometer). يوضح الشكل رقم (٦، ٣) كل من أنبوبية "بيتوت" والمضغاط أو أداة قياس ضغط الغازات والأبخرة. يتم ضبط وضع الأنبوبية في اتجاه سريان الهواء، فيتحوّل اصطدام الهواء داخل الأنبوبية إلى ضغط هوائي كلي، وذلك من خلال مركز الأنبوبية إلى أحد



شكل (٣, ٦). أنبوبة بيتوت والمانومتر الأنبوبي

أطراف المضغوط . وتعمل الفتحات الموجودة على الأنبوب الحلقي الخارجي على تحويل الضغط الاستاتيكي إلى الطرف الآخر للمضغوط . ويعبر عن الفرق بين الضغطين بضغط السرعة الذي من خلاله يمكن معرفة سرعة الهواء باستخدام بعض العلاقات .

$$V(P_V) = \rho(V)^2/2 \quad (٣, ٤٩)$$

حيث P_V ضغط السرعة، ρ م ويحسب عن طريق:

$$P_V = 0.051 \rho(V)^2 \quad (٣, ٥٠)$$

ويمكن حساب السرعة بالنسبة للهواء القياسي ($\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$) كدالة في (P_V) كالآتي:

$$V = 4.04(P_V)^{0.5} \quad (٣, ٥١)$$

ويمكن أن نحس أنبوبة " بيتوت " بدقة حتى سرعات متدنية جداً . ولكن عادة ما يكون المضغوط غير حساس بدرجة كافية لقياس سرعات أقل من ٢ (م/ث) .

المضغوط الدوار (Vane Anemometer). يمكن استخدام المضغوط الدوار من نوع ريشة الطاحونة الهوائية بسهولة لحساب سرعة الهواء. ويتم الحصول على السرعة المتوسطة عن طريق قسمة عدد لفات الريشة مع حركة الهواء الخطية على الوقت المتصرم. ويعتبر هذا الجهاز ذا دقة كافية بالنسبة للسرعات ١ (م/ث) أو أكبر. ويجب ضبط الجهاز في اتجاه سريان الهواء مع أخذ قراءتين أو أكثر للتأكد من الحصول على قيمة متوسطة دقيقة.

ووحدة الإحساس عبارة عن سلك ذي مقاومة تسخين كهربائية وله درجة حرارة تعتمد على التيار وعلى معدل الفقد الحراري بالحمل. ويتوقف معدل الفقد الحراري على كل من درجة حرارة وسرعة الهواء، وبالطبع على طريقة وضع السلك في اتجاه سريان الهواء.

وهناك نوعان من أجهزة المضغوط الشائعة الاستخدام. فيوجد النوع ذو درجة الحرارة الثابتة حيث يحافظ السلك المسخن على درجة حرارة ثابتة بعملية تحكم آلي لسريان التيار عند تغير سرعة الهواء؛ أي يمكن ربط سرعة الهواء بسريان التيار. وتتغير درجة الحرارة بالنسبة للنوع ذي التيار الثابت بتغير سرعة الهواء. ويمكن ربط نواحي التغيرات في مقاومة السلك إلى وحدات السرعة.

ويعتبر تراكم الأتربة على السلك المسخن أهم أنواع القصور بالنسبة لدقة الجهاز. وينصح بتنظيف السلك على فترات منتظمة خاصة إذا كان من الضروري استخدامه تحت ظروف تراكيز مرتفعة من الأتربة والقاذورات.

المراجع

1. MWPS. 1980. Structures and environment handbook. Midwest Plan Svc., Iowa State Univ., Ames, IA.
2. Albright, L. D. 1976. Air flow through hinged baffle slotted inlets. TRANSACTIONS of the ASAE 19(4):728-732, 735.
3. Albright, L. D. 1978. Air flow through baffled, center-ceiling slotted inlets. TRANSACTIONS of the ASAE 21(5):944-947, 952.
4. Smith, M. R. and T. E. Hazen. 1966. Similitude study of ventilation inlet configuration. ASAE Paper No. 66-95, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
5. ASHRAE. 1981. Handbook of Fundamentals. Am. Soc. of Htg. Refrig. and Air Cond. Engrs. New York. 688 pp.
6. Walton, H. V. and D. C. Sprague. 1951. Air flow through inlets used in animal shelter ventilation. AGRICULTURAL ENGINEERING 32(4):203-205.
7. ASAE. 1981. AGRICULTURAL ENGINEERS YEARBOOK. ASAE, St. Joseph, MI 49085.
8. ASHRAE. 1979. Handbook: Equipment. Am. Soc. Htg. Refrig. and Air Cond. Engrs. New York.
9. Schaper, L. A., H. Cloud and D. Lundstrom. 1976. An engineering evaluation of potato storage ventilation system performance. TRANSACTIONS of the ASAE 19(3):584-590.
10. Cloud, H. and R. V. Morey. 1977. Distribution duct performance for thorough ventilation of stored potatoes. ASAE Paper No. 77-406J, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
11. Nottage, H. B., J. G. Slaby and W. P. Godsza. 1952. Exploration of a chilled jet. Trans. ASHVE. 57:357-376.
12. Wilson, J. D., M. L. Esmay and S. Persson. 1970. Wall-jet velocity and temperature profiles resulting from a ventilation inlet. TRANSACTIONS of the ASAE 13(1):77-81.
13. Walker, J. N. 1977. Review of the theoretical relationships of isothermal ventilating air jets. TRANSACTIONS of the ASAE 20(3):517-522.
14. Black, T. C., J. N. Walker and G. M. White. 1970. Plane non-isothermal air jets discharging along a smooth ceiling. TRANSACTIONS of the ASAE 13(6):774-778.
15. Walker, J. N., and G. M. White. 1973. Influence of ceiling surface irregularities of air jets. TRANSACTIONS of the ASAE 16(1):145-147.
16. Albright, L. D. and N. R. Scott. 1974. The low speed, nonisothermal wall jet with applications to ventilation. J. Agric. Engr. Res. 19(1):25-34.
17. Hellekson, M. A., H. G. Young and W. G. Witmer. 1973. Baffled center ceiling ventilation inlet. TRANSACTIONS of the ASAE 16(4):758-760.
18. Turnbull, J. E. and J. A. Coates. 1971. Temperature in air-flow patterns in a controlled environment cage poultry building. TRANSACTIONS of the ASAE 14(1):109-113, 120.
19. Wilson, J. D. and R. G. Bishop. 1974. A model study of alternative ventilation systems for a broiler house. TRANSACTIONS of the ASAE 17(1):99-101.
20. Esmay, M. L. and H. Lileng. 1970. Summary of temperature and velocity distribution of slot-inlet ventilation air in cage-type laying houses. Paper presented at the World Poultry Congress, Spain, Sept. 1970.
21. King, F. C., G. M. White and J. N. Walker. 1972. The effect of surface obstructions on air wall jets. TRANSACTIONS of the ASAE 15(2):361-365.
22. Schulte, D. D., J. A. DeShazer and C. N. Ifeadi. 1972. Effect of slotted floors on air-flow characteristics in a model swine confinement building. TRANSACTIONS of the ASAE 15(5):947-950.
23. Griffin, J. G. and T. H. Vardaman. 1972. Summer ventilation rate: effects on environment and broiler performances in windowless housing in the South. TRANSACTIONS of the ASAE 15(3):548-551.

وسائل وأجهزة التحكم في التهوية* (VENTILATION AND EQUIPMENT CONTROLS)

• المراوح • المحركات الكهربائية • أجهزة التحكم في معدلات التهوية • أجهزة حس الرطوبة • أجهزة التوقيت • محركات المصاريع والمضخات • منطوقية التحكم • أجهزة تحكم ذات سرعات متغيرة • المرحلات • تغيير التردد إزاء التحكم على مراحل • نظم التدفئة • تنقية الهواء

تعتمد كفاءة عملية التهوية سواء بالنسبة لمباني الإنتاج الحيواني أو النباتي على اختيار وتركيب واستخدام التجهيزات الملائمة للتحكم في الهواء . فيمكن استخدام المراوح والفتحات الخاصة بمدخل أو مخرج الهواء وأجهزة التحكم والدفابات والمبردات وأجهزة التنقية للحصول على معدل التهوية المطلوب . ويمكن أيضاً تكييف الهواء وتغيير تركيب الهواء أو حتى التأثير على حركة الهواء داخل المساحة المخصصة للتهوية . وسوف نستعرض في فصول قادمة طرق وتجهيزات نظم مختلفة لاختيار حجم الأجهزة الملائمة سواء لتهوية النبات أو الحيوان . ولكن يوجد لدى كل وحدة سواء كانت جهازاً أو وحدة تحكم خصائص تشغيل أساسية خاصة ، بحيث تؤثر على أداء وتشغيل تلك الوحدة ، ولا تعتمد على نظام التشغيل الكلي . ويتناول هذا الفصل فهماً لخصائص كل وحدة من الوحدات السالفة الذكر من حيث الأداء وتأثير طرق التشغيل على كفاءة كل جهاز نظراً لأهمية فهم تلك الخصائص والمميزات . ويتناول هذا الفصل بالتحديد المعلومات الخاصة بكل من المراوح وأجهزة التحكم

* ج. ل. برات : جامعة ولاية داكوتا الشمالية - فارجو

جون متزر : لانسينج - ميشيغان

لويس د. أولبريت : جامعة كورنيل - أتاكا

ديوين س. باندي : جامعة ولاية أيوا - ايمس

والمحركات الكهربائية والحواجز الهوائية والدفايات وأجهزة التنقية .

المراوح

(FANS)

تعتبر المراوح الجزء الأساسي في أي عملية تهوية . ويوجد للمراوح وظيفتان أساسيتان هما : (أ) إحداث فرق ضغط للهواء ، (ب) دفع أو سريان الهواء . ويتم التركيز على أحد السببين السابقين دون الآخر اعتماداً على نوع التطبيق . فيعتبر الحصول على معدل سريان للهواء مع وجود فرق ضغط بسيط هو الهدف الرئيسي في تهوية المباني الزراعية سواء للإنتاج الحيواني أو النباتي . في حين يعتبر إحداث فرق ضغط كبير نسبياً عبر المروحة مع التضحية بجزء من سعة المروحة هو الهدف الرئيسي في عمليات التهوية الخاصة بتخزين المحاصيل الزراعية (حبوب وخضروات وفاكهة وغيره) . وقد تم بناءً على ذلك تطوير نوعين من المراوح للإيفاء بتلك الأغراض وهما على الترتيب : المراوح المحورية ومراوح الطرد المركزي .

ويجب التنبيه إلى أن مصطلح كلمة " مروحة " ليس له تعريف دقيق ومقبول . فتعتبر المروحة بالنسبة لمصممي نظم التهوية الصناعية الريشة التي تحرك الهواء - بطول مرتكزاتها المصاحبة وتحميلاتها وأغطيتها وغيره . ولكن من الأرجح أن يتضمن تعريف المروحة بالنسبة للمجال الزراعي كلاً من المحرك الكهربائي والحواجز الهوائية والغطاء المقاوم للعوامل الجوية المختلفة . وقد يسبب هذا الفرق في التعريف نوع من الإرباك لمشتري المراوح .

أنواع المراوح (Fan Types)

تختلف المراوح المحورية عن المراوح الطاردة المركزية بالنسبة لاتجاه خروج الهواء من ريشة المروحة . فيترك الهواء المروحة المحورية في اتجاه مواز لاتجاه العمود المركب عليه ريش المروحة ، بينما تقوم المراوح الطاردة المركزية بسحب الهواء إلى مركز المروحة ، ثم دفعه بقوة الطرد المركزي إلى الخارج في اتجاه قطر المروحة من خلال المخرج . ويوضح الشكل رقم (١ ، ٤) الأنواع العديدة للمراوح .

مراوح محورية



مراوح طاردة مركزية



شكل (٤، ١). أنواع المراوح الشائعة الاستخدام في تطبيقات التهوية

مراوح سريان محوري (Axial Flow Fans). تُقسم المراوح المحورية بالنسبة لعدد وأشكال الريش إلى كل من مراوح رفاصة (propeller) ومراوح أنبوبي (Tubeaxial) ومراوح محورية ذات الرياش (Vaneaxial). وتتكون المراوح الرفاصة من ريشتين أو أكثر متصلتين بمدار العجلة المركزي والصغير إلى حد ما. ويأخذ هذا المدار حركته مباشرة من محرك كهربائي أو من خلال نظام سير وطارة لخفض سرعة الدوران. وقد صُمم هذا النوع لتوفير هواء يُستخدم في التهوية أو التقليب، وليس لإحداث فرق ضغط. وتصنع ريش المروحة من ألواح معدنية عادية أو بعد تقسيئها. وفي الغالب ما تتيح الريش المقوسة فرق ضغط مرتفعاً إلى حد ما، كما تبقى نظيفة إلى حد ما خاصة عند استخدامها في تطبيقات ذات نسب تركيز أترية مرتفعة مثل تهوية مباني الإنتاج الحيواني وبيوت الدواجن.

مراوح رفاصة (Propeller Fans). عادة ما يتم تركيب المراوح الرفاصة على حلقة دائرية أو في فتحة لوح - يمكن مع تصميم فتوري - . ويعتبر خلوص طرف الريشة عاملاً مهماً مع هذا النوع من المراوح. ومن المرغوب أن يكون هذا الخلوص صغيراً ومنتظماً التوزيع. وتجن الخلوصات بين حافة الريشة النهائية وسطح

الخلقة من سريان الهواء إلى الخلف حول المروحة، مما قد يسبب دائرة مختصرة للهواء.

وعامة لا يستخدم هذا النوع من المراوح في حالة الحاجة إلى هواء مدفوع في اتجاهات مستوية. ويرجع السبب في ذلك إلى أن هذا النوع من المراوح يدفع الهواء في أنماط دائرية أو دوامات نتيجة لالتواء حركة الأسلحة مع دوران المروحة. وتؤدي أي إعاقة للحركة الدوامية على جانب تصرف هواء المروحة إلى انحدار أداء المروحة وزيادة المقاومة على الحركة الدوارة وإلى خلق ضغط خلفي بسيط على المروحة. ويؤدي أي ضغط خلفي ولو بسيط على المروحة إلى انخفاض جوهري لمعدل سريان الهواء نظراً لافتقار هذا النوع من المراوح إلى خصائص توليد الضغوط. ويعد تأثير الحواجز الهوائية المركبة على الجانب الخاص بدخول الهواء إلى المروحة غير جوهري بالنسبة لأداء المروحة. ويرجع السبب في ذلك إلى عدم حدوث دوران بالنسبة للهواء الدخول نتيجةً لنظافة الحواجز والفتح الكامل والضغط الملائم والعمل بحرية. ومن المرجح ألا تعوق الحواجز التي تعمل ميكانيكياً سريان الهواء حتى ولو تراكت الأتربة على تلك الحواجز.

وتأخذ المراوح الرفاصة حركتها إما عن طريق عمود إدارة متصل بمحرك كهربائي أو عن طريق سيور وطارات. وتأخذ المراوح حركتها من محركات كهربائية ذات سرعات ثابتة تستخدم إما أربعة أعمدة (من ١٧٢٥ إلى ١٧٥٠ لفة/دقيقة) أو ستة أعمدة (من ١١٤٠ إلى ١١٦٠ لفة/دقيقة). وتوجد أيضاً مراوح ذات سرعات منخفضة غير شائعة الاستخدام بالرغم من قلة الضوضاء الصادرة من تلك المراوح أثناء التشغيل. وتعتبر المراوح ذات السرعات المتغيرة أيضاً متوافرة وهي التي تعمل باستخدام محرك ذي مكثف منفصل مع التحكم في السرعة بواسطة جهاز حس حراري يغير من قدرة المصدر الواصل إلى المحرك الكهربائي. ويعتبر الإقلال من عدد أعمدة ومركبات المراوح من مميزات استخدام المراوح المتصلة مباشرة بالمحرك، وذلك لسهولة إجراء عمليات الصيانة. ولكن تعتبر المراوح ذات السرعات الثابتة محدودة الاستخدام بالنسبة للمحركات المتوافرة تجارياً. وتؤثر أيضاً المراوح المتصلة مباشرة بالمحركات على كل من عمود وكراسي المحرك بقوى متعامدة، وقد يؤدي عدم اتزان الريش إلى تولد اهتزازات.

ومع أن السرعات المستخدمة مع المراوح تكون عامة أقل من ١٠٠٠ لفة/ دقيقة، إلا أنه في الحقيقة يمكن تشغيل المراوح التي تأخذ قدرتها بواسطة سيور عند أي سرعة مرغوبة. ومع أن استخدام كراسي تحميل زائدة قد يؤدي إلى خفض كفاءة المروحة، إلا أن حركة الريش المنخفضة قد يكون لها معامل سحب احتكاكي من الهواء أقل، والذي بدوره قد يزيد من كفاءة المروحة. ومن المرغوب عند استخدام سيور على شكل الحرف V أن تكون هناك مسافات مركز-إلى-مركز، وذلك للحد من انزلاق السير على الطارات. ولكن قد تكون السيور المتساحة التي على شكل الحرف V محزوزة، بحيث تسمح بمسافات قصيرة لمركز عمود الدوران مع فواصل سير منخفضة وعمر استخدام أطول. ولابد من مراجعة شد السير على فترات زمنية وضبطه عند الضرورة بالنسبة لأي مروحة تأخذ حركتها بواسطة سير، وذلك للمحافظة على أداء وكفاءة المروحة.

مراوح محوري أنبوبي (Tubaxial Fans). تختلف هذه المراوح عن المراوح الرافصة من حيث عدد وعرض الريش. فيتراوح عدد الريش في المراوح الأنبوبية من أربع إلى ثماني ريشات مع عرض أكبر إلى حد ما للريشة، حيث يتم التركيب في أنبوبة أو ماسورة. ويُسهّل ذلك من عملية توصيل المروحة مع نظام ماسورة لتوزيع الهواء. وتكون الأنبوبية أسطوانية مع وجود خلوص محدد بين أطراف ريش المروحة والإطار. ويمكن أن يحدث ذلك النوع من المراوح فرق ضغط أعلى وجوهري من المروحة من النوع الرافص نظراً لزيادة عرض الريشة وصغر الخلوص. ومن ثم يستخدم هذا النوع في مواسير نظم توزيع الهواء في التطبيقات التي قد تحتاج إلى ضغوط منخفضة ومتوسطة. ويعتبر عرض الريشة الكبير مهماً في تحسين خصائص ضغط المروحة. ويتم إزاحة معظم الطاقة المعطاة إلى الهواء من المروحة الرافصة بواسطة أطراف الريش. وتعطي المنطقة المركزية حول الريشة كمية قليلة من الطاقة - الطاقة التي ينتج عنها فرق الضغط. وهكذا، إذا كانت هناك مروحة رافصة تعمل عند فرق ضغط كلي في مكان ما قريب بحيث يُختصر فيه تأثير المروحة، فإن كمية جوهرية من الهواء سوف تسري إلى الخلف من خلال المروحة بالقرب من الريشة. أما بالنسبة للمروحة من النوع "محوري أنبوبي" وأيضاً من النوع "ذات الرياش"، فإن عرض الريش الكبير قد يحجز هذا المرور الذي يتولد بواسطة الدائرة

المختصرة، مما يسمح بتولد فروق ضغط كلية مرتفعة.

مراوح محورية ذات الرياش (Vaneaxial Fans). يتم استخدام هذا النوع من المراوح بالنسبة للتطبيقات التي تحتاج إلى ضغط كلي مرتفع. وتحتوي هذه المراوح في الغالب من ٦ إلى ١٢ ريشة. وتأخذ مساحة مقطع الريشة شكل جناح الطائرة مع عرض كبير نسبياً - أكبر ٥٠٪ من قطر ريشة المروحة. ويتنافس هذا النوع من المراوح مع مراوح الطرد المركزي من حيث الحصول على ضغط للهواء، كما يمتاز أيضاً بقلّة الضوضاء المصاحبة للتشغيل. ويمكن استخدام آخر نوعين من المراوح في عمليات التهوية الخاصة بالمحاصيل والحبوب داخل الصوامع بحيث يمكن العمل تحت الضغط الإسماتيكي المطلوب لدفع الهواء خلال المواد المخزنة داخل الصوامة. ونظراً لأن تطبيقات عديدة تتطلب عامة معدلات سريان جوهريّة بالإضافة إلى فروق ضغط كلية جوهريّة، فإن ذلك يتطلب محركات كهربائية ذات ساعات كبيرة - بالمقارنة بالنسبة للمراوح الرافعة التي تحتاج عامة إلى قدرة حصانية صغيرة. وتستخدم نماذج ثلاثي الطور مع المحركات الكهربائية الكبيرة كمثال أحادي الطور.

مراوح الطرد المركزي (Centrifugal Fans). في الغالب تحتوي مراوح الطرد المركزي على عدد يتراوح ما بين عشر ريشات وستة عشر ريشة. وتُقسم أنواع تلك المراوح على حسب اتجاه الريش: ريش مائلة إلى الأمام وريش مائلة إلى الخلف وريش معتدلة. وتؤدي أنواع الريش الثلاثة إلى وجود اختلافات في خصائص المراوح - معدلات سريان الهواء كدالة في الضغط الكلي. ولكن تعمل الأنواع الثلاثة لهذا النوع من المراوح بكفاءة مع تزويد فروق ضغط مرتفعة. ويتولد فرق الضغط داخل مراوح الطرد المركزي بطريقتين يمكن وصفهما كالآتي.

يعمل الطرد المركزي بالنسبة للريش الدوّارة على إحداث فرق ضغط إسماتيكي، كما تضيق السرعة المنقولة إلى الهواء بواسطة الريش طاقة حركة تعمل على زيادة فرق الضغط الكلي. وتعرف سرعة الهواء عند تركها للموضع الدافع بالمجموع الاتجاهي لسرعة الدافع بالإضافة إلى سرعة الهواء إلى الدافع. وتكون السرعتان في اتجاهين مختلفين إذا كانت الريش مائلة إلى الخلف، بينما تكون السرعتان في نفس الاتجاه عند استخدام ريش مائلة إلى الأمام. وعلى ذلك تدفع المراوح التي تستخدم ريشاً مائلة إلى الأمام معدلاً كبيراً للهواء بالرغم من انخفاض

فرق الضغط الكلي .

و غالباً ما تُستخدم مراوح الطرد المركزي ذات الريش المعتدلة في تطبيقات معاملة المواد أو في حالة دفع هواء ذي نسبة تركيز أثرية مرتفعة . وتُستخدم مراوح الطرد المركزي في المنشآت كثيرة التعرض للعواصف ، أو في الأماكن التي تعتبر سهولة الصيانة الحقلية بها عاملاً مهماً . ولكن غالباً لا تُستخدم تلك المراوح لمجرد دفع الهواء فقط .

وتعتبر المراوح ذات الريش المائلة إلى الخلف من أكفأ أنواع مراوح الطرد المركزي والتي في الغالب ماتعمل عند السرعات المرتفعة . ويعتبر الحصول على منحنى خصائصي متكامل من أهم إسهامات ذلك النوع من المراوح . ويكون تأثير معدلات التهوية مع هذا النوع من المراوح بفرق الضغط الكلي أقل مما لو استخدمت المراوح ذات الريش المعتدلة أو المائلة إلى الأمام . وتعتبر هذه الخاصية مرغوبة في التطبيقات الأولية في الزراعة بالنسبة لمراوح الطرد المركزي : تخفيف الحبوب والمحاصيل . ويعني منحنى خصائصي منبسط اعتماداً أكثر على معدل الهواء المدفوع عند الاستخدام في ظروف متغيرة .

نظم تصنيف المراوح (Fan Rating Systems)

يمكن القول إن كل المراوح لها نسبة انزلاق ، بمعنى أنه لا توجد مروحة ذات كفاءة متناهية في نقل الطاقة إلى الهواء . فربما تصل أفضل كفاءة للمراوح إلى ٨٠٪ ، مع أن من النادر ماتصل كفاءة المراوح الرفاصة مثلاً إلى ٤٠٪ . وتعني نسبة الانزلاق أنه من الضروري إيجاد منحنيات خصائص المراوح تجريبياً . ويمكن توضيح تلك المنحنيات بعدة طرق ، فيتم لأغراض هندسية اختيار معدل السريان على المحور الأفقي . ويمكن رسم عدة خصائص كدالة في معدل السريان : فرق الضغط الاستاتيكي و فرق ضغط السرعة و فرق الضغط الكلي والكفاءة الإستاتيكية والكفاءة الميكانيكية والقدرة المستخدمة مع المروحة (المزودة من المحرك الكهربائي إلى عمود الإدارة) . ويمكن إضافة كفاءة استخدام الطاقة إلى وحدة مراوح وملحقاتها ، ولكن من النادر ما يحدث ذلك .

ويتم لأغراض تصاميم نظم التهوية اختيار رسوم بيانية مختلفة . ويتم وضع

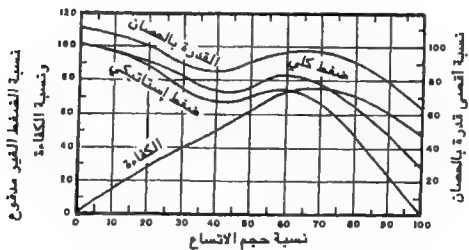
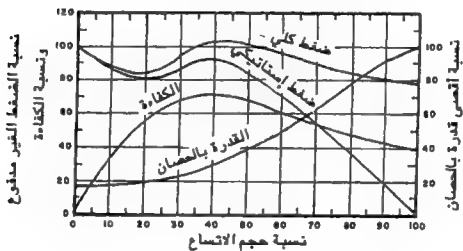
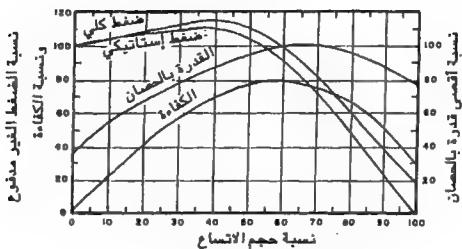
فرق الضغط الكلي على الإحداثي الرأسي ومعدل سريان الهواء على الإحداثي الأفقي. وهناك أيضاً أشكال أخرى شائعة مثل فرق الضغط الكلي على الإحداثي الرأسي مع استخدام كل من الطاقة الداخلية للمروحة وكفاءة استخدام الطاقة والكفاءة الميكانيكية والكفاءة الإستاتيكية على المحور الأفقي.

وتغطي الرسوم البيانية المدى من فرق ضغط صفر - والذي يطلق عليه طرداً حرراً أو طرد هواء حرراً - إلى النقطة حيث لا يوجد سريان للهواء، والتي يُطلق عليها حالة عدم الطرد أو الإيقاف الإستاتيكي. ويوضح الشكل رقم (٢، ٤) منحنيات نموذجية بالنسبة لأداء المراوح. ويوجد لكل نوع من المراوح منحنى خصائصي فردي. ويمكن الرجوع إلى أدلة المنتجين أو إلى المرجع (ASHRAE Handbook) للحصول على وصف كامل بالنسبة لمنحنيات أداء الأنواع الجديدة من المراوح^(١).

برنامج تصنيف (AMCA) المعتمد. قامت جمعية مهتمة بحركة الهواء

وطرق التحكم فيه (Air Movement and Control Association, AMCA) بالتعاون مع (ASHRAE) بتطوير مقياس ٢١٠ يصف الطرق العملية الواجب استخدامها عند اختيار المراوح لأغراض التصنيف^(٢). وتعتبر (AMCA) جمعية تجارية تطوعية خاصة بمصانع المراوح. وقد تشكلت تلك الجمعية لتوفير بيانات تُنشر عن إجراء اختبارات خاصة بدقة المراوح. وقد تم تنفيذ برنامج (AMCA) المعتمد لتصنيف المراوح، وذلك للوصول إلى تلك الغاية. وتوجد لدى هذا البرنامج عدة أشكال من بينها :

١- مقياس منشور يحدد طرق وظروف اختبار المراوح، بحيث يمكن تصنيف ومقارنة المراوح المنتجة من مصانع مختلفة. وتعتبر التحديدات الخاصة بإنشاء وتشغيل مجاري الرياح المستخدمة في اختبار المروحة أهم ما في هذا المقياس. ولا بد لكي يُستجاب لبرنامج التصنيف المعتمد من اختبار المراوح في مجرى هوائي باستخدام طريقة توافق عليها تلك الجمعية شخصياً. ويمكن أيضاً إجراء الاختبارات في معامل الجمعية في آرلنتجتون هايتس، في ولاية أليوني؛ أو يمكن إجراء التجارب في المعامل الخاصة بالمصانع (أو في معامل لإجراء التجارب خاصة بأي هيئات مستقلة توافق عليها الجمعية). وترُخص المراوح بعد إجراء التجارب بشهادة تُختتم



شكل (٤، ٢). منحنيات طبيعية لأداء المراوح

بختم موافقة الجمعية على دقة الطرق المستخدمة للحصول على البيانات. وتعتبر دقة البيانات مقبولة مادامت الجمعية قد أكدتها.

٢- تسمح المواصفات الأخرى من برنامج الجمعية بالاستمرار في إجراء اختبارات التأكد بالنسبة للمنتجات المرخصة واختبارات المنافسة بين مصانع المراوح المختلفة والمراجعات الدورية لمعامل إجراء اختبارات المراوح الحاصلة على موافقة الجمعية. وقد تم وضع قائمة بخطط المنتجات المرخصة في " دليل المنتجات المرخصة " والمنشورة دورياً بواسطة الجمعية^(٣).

ويجب أيضاً التعرف على إحدى المواصفات التي لا تعتبر جزءاً من برنامج الجمعية. فلا يضمن وجود ختم الجمعية على المروحة أن أداء المروحة في الحقل سوف يكون مطابقاً للبيانات المنشورة بواسطة المصنع. ويعتمد ذلك على نوع القطع المساعدة أو الأجزاء الإضافية المتوافرة أثناء إجراء اختبارات التصديق. وهكذا، فقد يختلف أداء المروحة أثناء التركيب عن الأداء المنشور في الدليل؛ إلا إذا كانت بيانات اختبار المروحة قد حددت نوع كل القطع المساعدة التي استخدمت في التجارب، وتضمنت أيضاً فواقد التشغيل.

ويوصى بالنسبة للمراوح المستخدمة في السوق الزراعي والمتوافرة مع ملحقاتها، أن يتم تطبيق البيانات على المروحة في حالة البيع والتركيب. ولكن، نادراً ما تُباع المراوح الصناعية كوحدة مع ملحقاتها، كما أن الأداء الحقلية يعتمد على خصائص التركيب الفعلية. ويجب في تلك الحالة فقط نشر الخصائص الخاصة بوحدة دفع الهواء الأساسية. ويقود الفرق بين سوقي المراوح إلى المشكلة في تعريف كلمة " مروحة "، والتي تم ذكرها سابقاً.

وأخيراً، لا يجب الافتراض أن نماذج المراوح المرخصة بواسطة AMCA مراوح "جيدة"، وأن المراوح غير المعتمدة مراوح "رديئة". فلا يمكن اعتبار أن ختم المروحة شهادة ضمان بجودتها. إنها فقط شهادة رسمية تعبر عن دقة إجراء التجارب. وهناك عدد من المصانع قد اختارت عدم المشاركة في هذا البرنامج المعتمد. ويوجد عدد آخر من المصانع قد ساهم فقط بعدد قليل من نماذج المراوح. ولكن، قد توجد نماذج من المراوح غير المرخصة تم إجراء اختبارات الأداء لها في معامل (AMCA) الخاصة باختبارات القبول. وبناء على ذلك، ينصح المشترون عند تقييم مراوح غير حاملة

لخاتم قبول الجمعية بإيجاد المصدر المعتمد للبيانات المنشورة عن أداء المراوح. ويعتبر ذلك ضرورياً عند شراء المروحة كوحدة مستقلة، بالإضافة إلى التأكد من أن البيانات المنشورة تمثل فعلاً المروحة المركبة.

قوانين المراوح (The Fan Laws)

يتم تطبيق النتائج المتحصل عليها من اختبارات المراوح فقط على نفس الشروط التي كانت عليها المروحة أثناء الاختبار، وأيضاً عند نفس السرعة المستخدمة. كما أنه ليس من السهل اختبار المروحة تحت كل الظروف وكل السرعات. ويعتبر استخدام القوانين الخاصة بالمراوح مقبولاً عند التنبؤ بأداء المروحة تحت ظروف ومسرعات أخرى غير التي استخدمت في الاختبارات، وإن كانت دقة التنبؤ ليست عالية. فتعتبر تلك القوانين مقبولة من الناحية العملية خاصة بالنسبة للمراوح التي تعمل تحت ظروف وشروط محددة. ويمكن استخدام قوانين المراوح للتنبؤ بمعدل سريان الهواء (Q) والقدرة (W) وفرق الضغط (δP)، وذلك كدالة في كل من قطر المروحة (D) وكثافة الهواء (p) والسرعة الدورانية (r.p.m.). وقد يكون الضغط المستخدم هو الضغط الكلي أو ضغط السرعة أو الضغط الاستاتيكي.

ويمكن تلخيص وتجميع القوانين الخاصة بالمراوح في الصور الآتية - مع الأخذ في الاعتبار أن الحالة (١) تشير إلى المروحة المعلومة البيانات، بينما تشير الحالة (٢) إلى المروحة المطلوب معرفة البيانات الخاصة بها:

$$(١, ٤) \quad Q_2 = Q_1 (rpm_2/rpm_1)(D_2/D_1)^3$$

$$(٢, ٤) \quad W_2 = W_1 (rpm_2/rpm_1)^3 (D_2/D_1)^5 (p_2/p_1)$$

$$(٣, ٤) \quad P_2 = P_1 (rpm_2/rpm_1)^2 (D_2/D_1)^2 (p_2/p_1)$$

وتخضع هذه المعادلات - للحصول على دقة مقبولة - لعدد من الشروط:

١. تطبق القوانين فقط على المراوح المتماثلة (homologous) مع ملاحظة أن العديد من المراوح المحورية ليست متماثلة.
٢. تطبق القوانين على مراوح ذات ريش أقطارها أكبر من قطر ريشة المروحة المعلومة البيانات.
٣. ينصح بعدم استخدام هذه القوانين للتنبؤ خارج المدى فيما لو كانت نسبة

القطر ($D2/D1$) أو نسبة السرعة ($rpm2/rpm1$) أكبر من ٣ ، أو لو كان ناتج حاصل ضرب نسبة القطر مع نسبة السرعة أكبر من ٣ .

مثال

مروحة من النوع الرفاص تدفع هواء بمعدل ٤ (م^٣/ث) عند فرق ضغط كلي ١٢ باسكالاً . فإذا كانت القدرة المتاحة ٤٠٠ واط - إلى ريشة المروحة وليست الطاقة الكهربائية المستهلكة بالمحرك الكهربائي - وسرعة المروحة الدورانية ٨٠٠ لفة/دقيقة، والمروحة في مرحلة التطوير عن طريق تركيب مجموعة أخرى من الطارات بحيث تصبح سرعتها الدورانية ٩٠٠ لفة/دقيقة مع تثبيت بقية المتغيرات الأخرى . احسب معدل التهوية والطاقة المضافة نتيجة لهذا التعديل .
الحل .

$$\begin{aligned} (٤, ٤) \quad Q_2 &= 4(900/800)(1)^3 \\ &= 4.5 \text{ m}^3/\text{s} \\ (٤, ٥) \quad W_2 &= 400(900/800)^3(1)^5(1) \\ &= 570 \text{ Watts} \end{aligned}$$

ويكون فرق الضغط الكلي :

$$\begin{aligned} (٤, ٦) \quad P_2 &= 12(900/800)^2(1)^2(1) \\ &= 15.2 \text{ Pa} \end{aligned}$$

ويمكن الحصول على المنحنى الجديد الخاص بخصائص المروحة المعدلة عن طريق منحنى المروحة الأصلية والتنبؤ أو حساب النقط بطول المنحنى الجديد باستخدام قوانين المراوح .

تصنيفات كفاءة المراوح (Fan Efficiency Ratings)

يتم في الغالب حساب الكفاءة الميكانيكية والإستاتيكية عند الاختبارات الخاصة بتصنيف المراوح . وتوجد دلالات لتلك العناصر من وجهة نظر المهندسين القائمين على التصميم وخاصة بالنسبة لتهوية المصانع . ولكن قد يختلف الأمر قليلاً بالنسبة

للتطبيقات الزراعية - مثل تهوية مباني الإنتاج الحيواني أو البيوت المحمية. ويعتبر نسبة ما يؤخذ من المروحة إلى ما يُدفع من تكلفة طاقة كهربائية داخلية إلى المروحة أهم ما يشغل فكر المربي أو المالك. ويُطلق على ذلك لسنوات عدة "بعدد الأقدام المكعبة في الدقيقة لكل واط". ويسمى في الغالب هذا التعريف بعدد الأمتار المكعبة التي تدفعها المروحة في الثانية لكل كيلو واط طاقة كهربائية مستخدمة في التشغيل. ولقد أطلق على هذه النسبة بنسبة كفاءة التهوية (Ventilating Efficiency Ratio (VER، ويوازي هذا الجزء ما يطلق عليه بنسبة كفاءة الطاقة (Energy Efficiency Ratio (EER المستخدمة في وصف كفاءة استخدام الطاقة مع أجهزة التكييف^(٥).

وغالباً ما يتم شراء المراوح على أساس التكلفة الثابتة بغض النظر عن تكلفة التشغيل. وعلاوة على ذلك، فإن أي مروحة ذات معامل تشغيل محسوب - نسبة وقت التشغيل - سوف تكلف أكثر بكثير عند التشغيل أثناء عمرها الافتراضي عن التكلفة الأصلية. ويوجد العديد من مستخدمي المراوح الذين لا يدركون ذلك، ولا يدركون أيضاً أن نماذج مروحتين - على ما يبدو متماثلتان - قد يكون لدى كل منهما معامل (VER) مختلف تماماً عن الآخر. ولا يوجد نظام تصنيف قياسي بالنسبة لكفاءة استخدام المراوح للطاقة، ولكن تقوم بعض المصانع بتزويد بيانات يمكن استخدامها في تقدير معدلات (VER). وتكون تلك الحالات حيث تتوافر بيانات دقيقة عن توزيع الهواء وقياسات دقيقة للكهرباء المستهلكة بواسطة المحرك الكهربائي مع اختبار للمروحة وملحقاتها بعد التركيب.

وتتغير قيمة (VER) المتماثلة مع وحدات المراوح وملحقاتها المتوافرة تجارياً من مصنع إلى آخر، كما تتغير بين الأنواع المختلفة من المراوح بالنسبة لنفس المصنع. فعلى سبيل المثال، تتغير بيانات (VER) الفعلية من ٥ م^٣/ (ث.ك. واط) إلى تقريباً ١٠ م^٣/ (ث.ك. واط). ولكي نوضح أهمية هذا المعامل، نفترض أن هناك مروحتين قيمة (VER) لكل منهما ٥ و ١٠ م^٣/ (ث.ك. واط) على الترتيب. وقد تم ضبط معدل الهواء الخارج من المروحتين على ٤ م^٣/ (ث) للاستخدام الفعلي لمدة عام بمتوسط معامل تشغيل ٦٥٪. وكانت تكلفة الكهرباء بالنسبة للمروحة (VER = 5) على أساس السعر ٨ سنت/ (ك. واط) كالتالي: ملحوظة: ١ دولار أمريكي = ١٠٠ سنت:

$$\text{Cost} = \frac{(\$ 0.08/\text{kWh})(0.65)(4 \text{ m}^3/\text{s})(24 \text{ h/day})(365 \text{ days/yr})}{5(\text{m}^3/\text{s. kW})}$$

$$= \$ 364 \text{ per year}$$

وتنخفض التكلفة إلى النصف بالنسبة للمروحة (VER = 10) بمعدل توفير سنوي ١٨٢ دولاراً أمريكياً. ويفوق هذا المعدل من التوفير الكلي ثمن المروحة نفسها بفرض عمر افتراضي للمروحة عشر سنوات. وتوجد بالطبع عوامل أخرى كثيرة يجب أن تؤخذ في الاعتبار عند اختيار المروحة، وإن كانت كفاءة استخدام الطاقة أهم تلك العوامل.

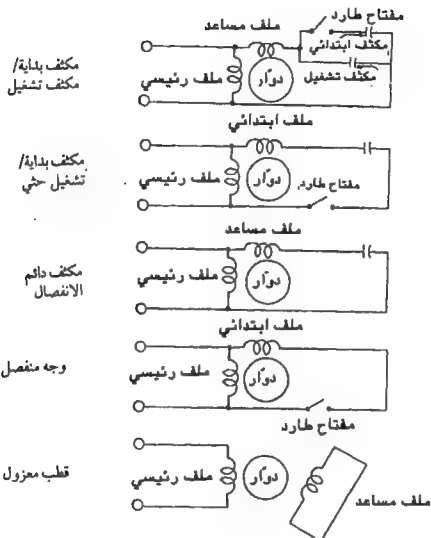
المحركات الكهربائية

(MOTORS)

المحركات الكهربائية الحثية (Induction Motors)

تعتبر المحركات الكهربائية من النوع الحثي من أشهر أنواع المحركات المعاصرة. ويتصل الملف الابتدائي في هذا النوع من المحركات الكهربائية بمصدر القدرة. ويحمل الملف الثاني أو الدوار التيار المستحث مكوناً دائرة مغلقة. ويتولد العزم من تفاعل المجالات الكهرومغناطيسية للدوار (rotor) مع الجزء الثابت (المخدة) (stator). ويتم استخدام نوعين من المحركات الحثية أحادية الطور وهما المحرك ذو العضو الدوار ومحرك قفص السنجاب. وتعتبر الأنواع ذات العضو الدوار أقل شيوعاً في الوقت الحاضر. ويتم تحديد خصائصهما بواسطة حافظة مغناطيسية ولولب (دوار) وعاكس تيار وفرش.

وتعتبر للمحركات من النوع قفص السنجاب بسيطة وتحمل العمل الشاق. وتعتبر تلك المحركات أيضاً ذات قدرات تجزئية، مع أنه يوجد العديد من المحركات الرخيصة الثمن والمتوافرة في الأسواق وذات قدرات تجميعية. وتوجد خمسة أنواع من محركات قفص السنجاب أحادية الطور: مكثف بدء حركة-مكثف تشغيل (Capacitor start- Capacitor run) ومكثف بدء حركة-تشغيل حثي (Capacitor start-Induction run) ومكثف مجزأ دائم (Permanent split capacitor) وطور مجزأ (Split phase) وقطب معزول (Shaded pole). ويبين الشكل رقم (٣، ٤) رسوماً



شكل (٤,٣). رسوم الخمسة أنواع من المحركات الكهربائية الشائعة الاستخدام في تطبيقات التهريرة.

توضيحية لتلك الأنواع الخمسة.

ولاحتماج المحركات الحثية أحادية الطور إلى عزم تشغيل ابتدائي. ويكون المجال إستاتيكيًا ذا خفقان. ويكون المجال الحثي على العضو الدوار أيضًا إستاتيكيًا. وقد يحدث تبادل للمجالات في الأقطاب، ولكن لا يحدث دوران^(٦). ولكن،

بمجرد بدأ دوران العضو الدوار، تبدأ المجالات الابتدائية والثانوية في توليد عزم. وسوف يستمر المحرك في التعجيل ليتمشى مع الحمل المفروض. وتعني تلك الخاصية وجوب وجود لفة منفصلة لبدأ تشغيل المحرك. ومن الطبيعي أن تكون اللفة المساعدة متصلة على التوالي مع المكثف، ومتصلة على التوازي مع اللفة الأولية. وتعمل اللفة المساعدة على توليد مجال يتفاعل مع المجال الابتدائي لإنتاج مجال دوراني فعال. ويحدث ذلك نتيجةً لحدوث زحزحة طورية متولدة من مكثف اللفة المساعدة بين التيار في كل من الملفات الابتدائية والثانوية. وقد يبقى المجال المساعد فعالاً في كل الأوقات، أو يمكن إبطاله بواسطة مفتاح طرد مركزي عندما تصل سرعة المحرك إلى السرعة التي يحتفظ عندها المجال الإستاتيكي والناقص بعزم كافٍ (تقريباً ٧٥٪ من السرعة الكاملة).

محركات ذات أقطاب معزولة (Shaded Pole Motors). يعتبر هذا النوع استثناءً من القاعدة العامة التي تقول إن هناك احتياجاً إلى مكثف مع الملف المساعد. ويكون الملف المساعد في محرك ذي قطب معزول دائماً قصير وذو مقاومة عالية بحيث يحث التيار بواسطة المجال الابتدائي. ويتولد نتيجةً لوضع الملف الابتدائي أثناء التشغيل مجال دوراني إستاتيكي. ومن خصائص تلك المحركات انخفاض كل من العزم والكفاءة ومعامل القدرة والتكاليف الثابتة. وتستخدم تلك المحركات فقط مع الاستعمالات الخفيفة.

محركات مجزأة الأطوار (Split phase Motors). يتم في هذا النوع من المحركات تحريك الملف المساعد بالنسبة للملفات الرئيسية ٩٠ درجة مغناطيسياً بحيث تعمل الملفات معاً على توليد مجال دوراني يساعد على تعجيل حركة المحرك من السكون. ويوجد مفتاح طرد مركزي يعمل على فصل الملف المساعد عن الدائرة عند الوصول إلى السرعة المرجوة، بينما يستمر المحرك في الدوران فقط بمساعدة الملف الرئيسي. ويمكن عند السكون عكس دوران المحرك عن طريق عكس أي من أزواج التحميل. وعامةً تستخدم المحركات مجزأة الأطوار مع تطبيقات القدرة المنخفضة، أي ٢٥٠ واط أو أقل. ومن خصائص تلك الأنواع من المحركات انخفاض كل من

الكفاءة ومعامل القدرة والتكلفة وأيضاً الاحتياج إلى عزم تشغيل متواضع .
محركات ذات مكثف مجزأ دائم (Permanent split capacitor Motors) .
 يعمل المكثف للمجزأ الدائم في الملف المساعد لنظام محركات ذات مكثف مجزأ دائم على تقليل تيار بدأ التشغيل . ولكن نظراً لصغر حجم المكثف المستخدم ، فإن الحادث هو انخفاض عزم بداية التشغيل . ولا يُسبب هذا النوع من المحركات مشاكل تذكر عند استخدامه مع المراوح خاصة الأنواع ذات الدفع المباشر ؛ نظراً للحاجة إلى عزم تشغيل منخفضة . ويتيح استخدام المكثف الدائم أيضاً تولد كفاءات ومعاملات قدرة مرتفعة نسبياً . ويكون الاستخدام النموذجي لتلك المحركات مع المراوح ذات الدفع المباشر ، والمراوح التي تحتاج أيضاً إلى سرعات متغيرة ؛ نظراً لعدم وجود مفتاح طرد مركزي لفصل الملفات المساعدة عند السرعات المنخفضة .

محركات ذات مكثف-بدأ حركة ، تشغيل-حتمي

(Capacitor-Start, Induction-Run Motors)

تعتبر هذه المحركات مشابهة للأنواع ذات مجزأة الأطوار باستثناء تركيب مكثف على التوالي مع الملف المساعد . ويعمل هذا المكثف على زيادة عزم بداية التشغيل ثلاثة أضعاف العزم الناتج من محرك مجزأ الطور له نفس الحجم . ولكن يعيب هذا النوع من المحركات سحب تيار كهربائي عند بدأ التشغيل يساوي من ٣ إلى ٦ مرات التيار المستمر . ويعتبر هذا النوع شائع الاستخدام ومتوافراً في أحجام صغيرة حتى ٥ ، ٧ كيلو واط . ويمكن أيضاً عكس اتجاه الحركة عن طريق تبديل وضع الأطراف الموصلة إلى ملف بدأ التشغيل .

محركات ذات مكثف-بدأ حركة ، مكثف-تشغيل

(Capacitor-Start, Capacitor-Run Motors)

يُطلق على تلك المحركات أيضاً المحركات ذات المكثفين القيمين . ويوجد مع هذا النوع مكثف دائم التشغيل متصل على التوالي مع الملف المساعد . ويتصل ملف التشغيل الثاني - ذو الحجم الأكبر - على التوازي مع مكثف التشغيل ومفتاح طرد مركزي يعمل على توفير عزم كبير للمحرك أثناء عملية التعجيل وكفاءة نسبية مرتفعة

جداً وكذلك معامل قدرة مرتفع . ويعتبر ذلك ملائماً لجعل تلك المحركات تعمل مع المراوح ذات الدفع بالسيور . ويحتمل أن تكون تلك المحركات من أفضل المحركات أحادية الطور، والمتوفرة في أحجام تتراوح ما بين ٣٧٥ واط و ١٥ كيلوواط تقريباً .

محركات من النوع التنافري (Repulsion-type Motors)

تختلف المحركات الكهربائية التنافرية عن محركات قفص السنجاب في البنيان الخاص بالدوائر . ويعتبر العضو الدوار القلب، حيث يتم تركيب الملف في داخله . ويتم توصيل الملف إلى عاكس التيار بواسطة فرش . وقد تكون الفرش رابطة على عاكس التيار معظم الوقت، وذلك ما يطلق عليه في التصميم "brush-riding" . وتصنع الفرش حيث يمكن رفعها تبادلياً عندما تصل سرعة المحرك تقريباً ٧٥٪ من السرعة المكتملة، وذلك ما يطلق عليه في تصميم المحرك "brush-lifting" .

ولا تعتبر المحركات الكهربائية من النوع التنافري شائعة الاستخدام في تطبيقات تستلزم عملاً مستمراً مثل مراوح التهوية . ويرجع السبب في ذلك إلى زيادة التكلفة، بالإضافة إلى مشاكل الصيانة نتيجة تآكل الفرش وعاكس تيار . ويكون الاستخدام الأفضل والأكثر ملاءمة لتلك المحركات مع العمليات التي تتطلب أحمالاً ثقيلة ومتقطعة عند بداية التشغيل .

محركات كهربائية عمومية (Universal Motors)

يعتبر المحرك العمومي أو المتصل على التوالي من أكثر الأنواع شيوعاً في الاستخدام مع المراوح الرافعة . ويعتبر المحرك ذا سرعة عالية بحيث يمكن استخدامه مع كل من التيار المستمر والمتقطع . ويوجد في هذا النوع من المحركات عزم دوراني ابتدائي مرتفع وسرعة تشغيل حساسة بدرجة مقبولة بالنسبة للحمل المفروض . وعامة تكون المحركات العمومية متوافرة حتى ٢٥٠ واط، ولكن تعتبر أقل كفاءة من المحركات من النوع "مكثف-تشغيل"، والذي يعتبر العامل المهم في تطبيقات التشغيل المستمر مثل مراوح التهوية .

محركات ذات بدء حركة - خفيفة (Soft-Start Motors)

يفضل استخدام المحركات الكهربائية ثلاثية الطور بالنسبة للتطبيقات التي تتطلب محركات كبيرة الحجم - مثل ٥, ٥ كيلو واط أو أكبر. ويرجع السبب في ذلك إلى انخفاض شدة التيار المستخدم عند بدء الحركة انخفاضاً جوهرياً، بالإضافة إلى قلة التكلفة. وعلاوة على ذلك، يوجد العديد من المزارع التي لا تُستخدم بواسطة مصادر قدرة ثلاثية الطور. وتعتبر للمحركات الكهربائية ذات البداية الخفيفة محركات أحادية الطور تم تطويرها لتغطية هذا الاحتياج. وتستخدم تلك المحركات في تطبيقات مثل مجففات الحبوب والمحاصيل. ويتم تزويد تلك المحركات بعدد من لفات خاصة تسمح للمحرك أن يكون ثنائي أو ثلاثي العزم. ويتوافر عند بداية التشغيل عزم منخفض يتولد عنه تيار منخفض. وتسمح تلك الخاصية باستخدام محركات كهربائية كبيرة أحادية الطور على خط لم يكن من الطبيعي أن يُسمح به بواسطة شركات الكهرباء.

كفاءة المحرك الكهربائي (Motor Efficiency)

تتغير كفاءة المحركات الكهربائية تغيراً كبيراً في مدى يتراوح تقريباً من ٩٥٪ بالنسبة للمحركات ثلاثية الطور إلى ما بين ٣٠ و ٣٥٪ بالنسبة للمحركات الصغيرة. ومع أن نوع المحرك يحدد إلى حد كبير الكفاءة، إلا أنه توجد عوامل أخرى مرتبطة بالتكوين قد تؤثر أيضاً على كفاءة المحرك. وتعتبر فواقد قلب المحرك أحد مصادر انخفاض الكفاءة. فقد يساعد استخدام مادة الحديد الصلب بخواصه المغناطيسية الفعالة على تقليل فواقد قلب المحرك. كما يساعد استخدام العديد من الموصلات الكبيرة من الجزء الإستاتيكي - المخذة - (Stator) أو العضو الدوار (Rotor) على تقليل المقاومة الداخلية، وبالتالي زيادة الكفاءة. ويعتبر الاهتمام بالتحكم أو تقليل الفراغ الهوائي بين كل من الجزء الإستاتيكي والدوار من العوامل المهمة في تقليل التيار المغناطيسي المطلوب لباقي الحركة، وبالتالي تقليل الفواقد. أخيراً، من الأرجح أن تحسن كفاءة المحرك بتحسين معامل نقل القدرة عن طريق استخدام أسلاك ذات أحجام صغيرة لنقل القدرة إلى المحرك.

وتعتمد كفاءة المحرك الفعلية على اختيار حجم المحرك المناسب للحمل المناسب. فقد تصل كفاءة للمحرك إلى أقصاها عند تشغيل المحرك مع حمل قريب من الحمل المسموح به. وقد تنخفض كفاءة للمحرك جذرياً عند تشغيل المحرك مثلاً على حمل أقل من ٧٥٪ من الحمل الكامل. وقد تنخفض الكفاءة بسرعة بالمثل عند التحميل الزائد. وقد تنخفض كفاءة للمحرك أيضاً عند التشغيل مع جهد كهربائي أقل من الجهد الموصى باستخدامه. وقد لا يحدث انخفاض في الكفاءة فقط، بل قد يحدث أيضاً انخفاض في قيمة العزم. وقد يحدث انخفاض في معامل القدرة أيضاً نتيجة تحميل للمحرك بحمل أقل من الحمل الموصى به. ففي الحقيقة قد ينخفض معامل القدرة بسرعة بانخفاض الحمل على المحرك عن قيمة الحمل الكامل.

ويمكن حساب تكلفة استخدام محرك بكفاءة منخفضة بفرض استخدام عدد ٢ محرك لهما نفس الحجم لتشغيل مراوح، الطاقة المتولدة من كل منهما ٣٩٠ واط (٥٢، ٠ حصان). وكانت كفاءة أحد المحركين ٧٠٪ - يحتمل أن يكون محركاً أحادي الطور - بينما كانت كفاءة للمحرك الآخر ٥٥٪ - يمكن أن يكون محركاً مجزأ الأطوار. وبفرض أن تكلفة الطاقة الكهربائية ٠، ٠٤ دولار/ (ك واط. ساعة) ومعامل تشغيل المروحة ٠، ٦، فإن كفاءة المروحة (٧٠٪) سوف تسحب ٥٥٧ واط، وسوف تكون التكلفة أثناء سنة من التشغيل ١١٧ دولاراً. وسوف يسحب المحرك ذوالكفاءة (٥٥٪) حوالي ٧٠٩ واط، وسوف تكلف سنة من التشغيل ١٤٩ دولاراً. وقد يعوض الفرق ٣٢ دولاراً - في سنة واحدة - الفرق في التكاليف الثابتة بالنسبة للمحركين. وهناك - بالإضافة إلى توفير استخدام الكهرباء - توفير إضافي من متطلبات الكهرباء المنخفضة وسريان التيار المنخفض نتيجة لارتباطه بأحجام الأسلاك المطلوبة عند التوصيل مع المروحة.

أجهزة التحكم في التهوية

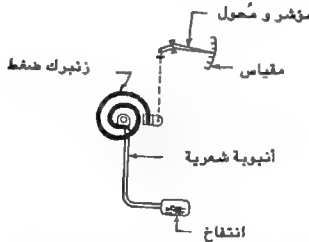
(VENTILATION EQUIPMENT CONTROLS)

أدوات تنظيم الحرارة ألياً (Thermostates)

تعتبر وحدات الحس الحراري - الثرموستات - من أكثر أنواع وحدات التحكم شيوعاً في نظم التهوية بالنسبة للتطبيقات الزراعية. والوحدة عبارة عن مفتاح حساس

للحرارة يتكون من عنصر الحس الحراري ومفتاح كهربائي لفصل أو وصل الطاقة الكهربائية إلى أجهزة التدفئة. وهناك ثلاثة أنواع من عناصر الإحساس الشائعة الاستخدام في معظم التطبيقات الزراعية: امتلاء بخاري وامتلاء سائلي وازدواج معدني.

امتلاء سائلي (Liquid Filled). يتكون عنصر الإحساس في هذا النوع من حلزون ضغط أو انتفاخات وأنبوبة شعيرية وبصيلة إحساس، وذلك كما هو موضح في الشكل رقم (٤، ٤). ويتمدد السائل مع تمدد أو انقباض النظام على حسب درجة الحرارة، والتي بدورها تعمل على إدارة مفتاح التشغيل.



شكل (٤، ٤). منظم حراري يعمل بواسطة سائل أو بخار

وتعتبر علاقة معامل تمدد السائل خطية، كما يوفر عنصر قدرة الامتلاء السائلي قوة تحويل كافية ودقيقة نسبياً. ويوجد لدى العناصر ذات للمحتوى السائلي نسبة خطأ منخفضة، وتغطي مدى واسعاً من درجات الحرارة. ويعتبر استخدام ذلك النوع ملائماً بالنسبة للتطبيقات المتعرضة لدرجات حرارة مرتفعة نسبياً، أو الظروف التي قد تتخللها في بعض الأحيان درجة حرارة الجو.

وتعتبر البصيلة نقطة الإحساس الأولية أو نقطة التحكم؛ نظراً لاحتوائها على حجم من السائل كبير نسبياً، وذلك بالمقارنة بالأنبوبة الشعيرية. وهناك أطوال عديدة متوافرة من الأنابيب الشعيرية والتي تسمح بالحس عن بعد.

وعامة يوجد تأخير جوهري بالنسبة لمدى استجابة وحدة الحس الحراري التي تحتوي على بصيلة ذات محتوى سائلي عن الوحدات التي تحتوي على بصيلات ذات امتلاء بخاري. ويرجع السبب في ذلك إلى علاقة كتلة المادة بالنسبة لمساحة البصيلة السطحية. وسوف يتولد عن خطأ في المعايرة كسر أو تلف ميكانيكي بالنسبة للبصيلة، والذي بدوره يؤدي إلى تلف الوحدة. ويتم تصنيع تصميمات عديدة تصلح للعديد من التطبيقات والمستويات المختلفة من درجات الحرارة. وقد يتبع عن تعرض البصيلة لدرجات حرارة زائدة تلف دائم للانتفاخ، وإلى فقد دقة عنصر القدرة.

عناصر قدرة الامتلاء البخاري (Vapor Filled Power Elements).

تستخدم عناصر الامتلاء البخاري أساساً مع أجهزة التحكم في التهوية والتدفئة في مباني الإنتاج الحيواني والنباتي. ويحتوي عنصر قدرة الامتلاء البخاري على نفس عناصر الامتلاء السائلي باستثناء وجود مخلوط من بخار سائل بدلاً من سائل فقط. وتستخدم في صناعة أجزاء هذه الأداة مواد أخف من المواد المستخدمة مع النوع السابق؛ نظراً لانخفاض ضغط البخار الناتج من التحول من صورة إلى أخرى عن الضغط الناتج من تمدد السائل فقط. ويتم تزويد قوى التحويل بواسطة ضغط البخار الذي يتناسب مع درجة الحرارة مادام يوجد بعض السائل في النظام.

وتعتبر عناصر الامتلاء البخاري أقل عرضة لفقدان الدقة والمعايرة أو حتى التلف الميكانيكي للبصيلة؛ نظراً لأن ضغط البخار يتيح قوة تحول صغيرة، وذلك بالمقارنة بقوى التحول المتولدة في الوحدات ذات الامتلاء السائلي. وتعتبر أيضاً أقل عرضة للتلف عند درجات الحرارة الزائدة. وقد تتأثر معايرة أجهزة القياس بالتغيرات في الضغوط الجوية، ولكن عامة لا يعتبر ذلك جوهرياً بالنسبة للتطبيقات الزراعية.

وتتضمن العناصر القياسية لهذا النوع خصائص انخفاض مستوى درجة الحرارة في عنصر الإحساس الخاص بالتحكم في درجة الحرارة. وتكون درجة حرارة التحول هي درجة حرارة الانتفاخ وليست البصيلة إذا كان لدى الانتفاخات درجة حرارة أقل من درجة حرارة البصيلة. ونتيجة لذلك، فإنه لا بد - للحس عن بعد - من استخدام عنصر خاص مرتبط بالجو الخارجي، حيث موضع الترموستات في الجو البارد. ولا بد من تركيب الانتفاخات المرتبطة بالجو الخارجي في مواضع يتم اختيارها بناءً على توصيات من المصانع.

وتعتبر خفة وزن أجزاء الحس في هذا النظام ميزة عظيمة في تصميم ثرموستات التهوية. فتم عملية الإحساس بكفاءة عالية لأي تغير بسيط في درجة الحرارة نتيجةً للتصميم الجيد والناجم من وجود معظم حجم السائل - بخار داخل الانتفاخ مع الاحتفاظ بدرجة حرارة أعلى درجة أو درجتين عن درجة حرارة عنصر الإحساس. وتبدأ درجة الحرارة في الخزان في الارتفاع تدريجياً باستخدام طوق ذي كمية حرارة قليلة جداً، ويكتسب طاقته عندما يكون الانتفاخ في الوضع المفتوح.

عنصر قدرة الازدواج المعدني (Bi-metallic Power Element) . جهاز
حس الحرارة ذو الازدواج المعدني - كما تتضمن التسمية - عبارة عن شريط معدني مزدوج يتأثر بتغير درجة الحرارة. وفي بعض الأحيان يكون عنصر القدرة أيضاً مركبة تحويل تسمح بتصنيع أجهزة حس حراري من ازدواجات معدنية غير مكلفة على الإطلاق.

وتعتمد قوى التحول على كتلة وطريقة تصميم العنصر. فمن المرغوب أن تكون كتلة العنصر صغيرة جداً حتى تحدث استجابة سريعة للمتغيرات. ونتيجةً لذلك نجد ارتباط قوة التحول الصغيرة بدقة وسرعة استجابة عناصر الازدواج المعدني. وتستخدم عناصر الازدواج المعدني أساساً للتوصيل مع كل من مفاتيح زئبقية ومفاتيح تلامس عائمة، وفي المواضع التي تكون دقة الاستجابة السريعة غير حرجية. وتعتبر عناصر الإحساس الحراري ذات الازدواجات المعدنية غير شائعة الاستخدام في العمليات الزراعية خاصةً في مجال التحكم في الأجهزة، مع أن تركيب المفتاح الزئبقي شائع الاستخدام في التطبيقات المنزلية. وتعمل الغازات المتولدة في البيئات الزراعية على التأثير السريع على معايرة جهاز الحس الحراري. ويؤدي تعرض الجهاز إلى درجات حرارة عالية إلى تلف دائم لعنصر الإحساس مع افتقار المعايرة.

وتعتبر عناصر الإحساس ذات الازدواجات المعدنية - مثلها مثل الثرموستات القرصية - شائعة الاستخدام كأدوات أمان، بالنسبة لأجهزة التدفئة، ومع مفاتيح أخرى في الأماكن التي لا تتطلب دقة تحذيرية عالية، أو التي يكون عدد دورات الفتح والغلق منخفضاً نسبياً.

الدقة - فرقية وتأخرية (Accuracy, Differential and Lag) . تعرف

الدقة على أنها عدد مرات الدورات التكرارية لفتح وغلق المفتاح الكهربائي، وكذلك مدى القرب من النقطة المضبوطة عليها درجة الحرارة المرغوبة. وغالباً ما يحدث تشويش للدقة مع التحويلات الفرقية. ويترتب على هذا التشويش أن المصانع لا تنشر أي شيء عن الدقة. ومعظم أجهزة الحس الحراري الشائعة الاستخدام ذات دورات تكرارية عالية، ولكن قد تتغير الدرجة المرغوبة بعض الشيء عن درجة الحرارة المعيارية. ويمكن معايرة درجة الحرارة المرغوبة لأنواع من أجهزة الحس الحراري، ولكن لا بد من استخدام أسلوب المفتاح - فتح وغلق - باتساق.

ومع أن معظم المصانع لا تنشر شيئاً عن الدقة، إلا أنه يتم تزويد تلك المعلومات عند الرغبة. فتحدد بعض المصانع دقة أجهزة الحس الحراري الخاصة بالتحكم في التهوية في حدود $\pm 1^\circ\text{F}$ ، وهي دقة كافية لمعظم مباني الإنتاج الحيواني والنباتي. وقد يكون من المرغوب الحصول على دقة أعلى بالنسبة لبعض تطبيقات تخزين المحاصيل مثل البطاطس. ولكن قد تكون هناك تغيرات كبيرة في درجة الحرارة خلال العديد من الحيزات، وقد تكون زيادة دقة الجهاز في تلك الحالات أمراً غير عملي.

وتتضمن معظم أجهزة الحس الحراري بالنسبة للأغراض الزراعية مفاتيح غلق فجائي (snap action) تعمل بصلاصة على التفريق بين نقط ارتفاع درجة الحرارة (فصل الأجهزة) أو انخفاض درجة الحرارة (تشغيل الأجهزة). وينشر هذا الفرق في أدلة معظم أجهزة الحس الحراري، وقد يكون هذا الفرق قابلاً للخفض في الاستخدام الحقل في مدى محدد بالنسبة لبعض الأنواع.

ومن المرغوب في العديد من التطبيقات الحصول على تحويل فرقي. ويمكن حدوث دوران سريع للجهاز مع قليل من التباين، مما قد يسبب تلقاً سريعاً لنقط التلامس. ويعتبر مفتاح ذو فرق 1°F شائع الاستخدام مع أجهزة التهوية. وقد يكون الفرق 3°F إلى 4°F طبيعياً مع أجهزة الحس الحراري ذات المدى الواسع والمستخدم مثلاً في تخفيف المحاصيل، وغيره.

وتستخدم أجهزة قياس التأخر عند تذئذ درجات الحرارة. ويتوقف مدى امتداد التأخر على كل من نوع عنصر الإحساس والتصميم. ولا توجد أشكال خاصة منشورة بالنسبة لأداء التأخر، ولكن قد تساعد معظم المصانع على اختيار نوع الجهاز

بتزويد نسب أداء العديد من التصميمات .

ويعتبر ما يسمى "تأثير الدورة الأولى" مرتبطاً مع التأخر . فقد يكون من الضروري تصحيح درجة حرارة النظام في مدى واسع عند بدأ التشغيل ، وقد يكون تأخر جهاز الحس الحراري أكبر مما يجب بالنسبة لدورة طبيعية حول الدرجة المرغوبة . فقد يوجد تجاوز إلى الخلف بالنسبة لتحديد أول درجة حرارة مرغوبة .

المسدى (Range) . تُصمّم أجهزة الحس الحراري لتغطي المدى من درجات الحرارة المنشورة في الدليل قرين كل جهاز . ويتوقع أن يكون أداء تلك الأجهزة - مثلها مثل غيرها من الأجهزة - الأفضل عند منتصف المدى الذي تعمل من خلاله . ويتوقع أن تكون دقة التشغيل منخفضة عند الحدود سواء القصوى أو الدنيا للمدى .

المفاتيح (Switches) . تعتبر المفاتيح من الأنواع (snap acting, micro switch, and line voltage) من أكثر أنواع المفاتيح ملائمة بالنسبة للتطبيقات الزراعية . وتتطلب نقط التلامس القائمة لنظم جهد - ٢٤ قوى فتح وغلق أقل ، ولكن يعتبر هذا النوع عرضة للاصطكاك نتيجةً للتلف السريع لنقط التلامس . وعادة تنتشر تلك العملية في شكل خط من التلفيات ، بحيث يمكن أن تسبب مشاكل مع الأجهزة الأخرى المرتبطة ، خاصةً مع الأجهزة ذات حالات التشغيل الثابتة .

وتوجد أنواع عديدة من المفاتيح المتوافرة للتجهيز مع الأجهزة التي تعمل مع فرق جهد ١٢٠ و ٢٣٠ فولت . ويجب موافقة جهد وسعة تيار المفتاح بعناية مع أحمال النظام . وتعتبر معظم مفاتيح أجهزة الحس الحراري من النوع أحادي القطب ذات سمات محدودة ، بينما يستخدم النظام ثلاثي الطور مع الأحمال الثقيلة مثل المحركات الكهربائية الكبيرة مع مراعاة استخدام مُرحّل للتحكم في الجهاز الرئيسي . وقد تضم بعض أجهزة الحس الحراري أكثر من مفتاح واحد من النوع "micro switch" مع ضبط أو المحافظة على فرق درجات الحرارة بين المفاتيح . ويمكن استخدام ذلك في توالي أكثر من قطعة في جهاز أو في التحكم في مراوح ذات سرعات متعددة .

وتوجد من أشكال المفاتيح المتاحة أيضاً الأنواع "قطب مفرد-أحادي القذفة" (single pole-single throw) و "قطب مفرد-مزدوج القذفة" (single pole-double throw) . ويمتاز النوع الثاني من المفاتيح بإمكانية التركيب بالنسبة لأي من الغلق

أو الفتح الطبيعيين ، بينما لا بد من اختيار النوع الأول عند استخدام أسلوب تشغيل محدد .

موضع أجهزة الحس الحراري (الثرموستات) (Sensing Location). لا بد من التفكير بجدية عند اختيار موضع الثرموستات للحصول على تحكم موثوق فيه بالنسبة للوسط المرتبط بالعملية أو المنتج المستخدم . فيتم استخدام الثرموستات في معظم مباني الإنتاج الحيواني والنباتي للتحكم في مستويات التهوية والحرارة المرغوبة خلال الحيز ، كما يستخدم أيضاً للتحكم في أجهزة التدفئة ودرجة حرارة الهواء الداخِل إلى المنتج .

ومن الناحية الاقتصادية يجب تركيب عنصر الإحساس بالقرب من مستوى النبات أو الحيوان لتتم عملية حس درجة الحرارة المتعرض لها الحيوان أو النبات . ولكن يصعب في معظم الأحوال خاصة في تلك المتضمنة الإنتاج الحيواني وضع جهاز الإحساس عند مستوى الحيوان لتجنب أي كسر أو تلفيات . فيتم وضع الجهاز مثلاً عند مستوى أعلى قليلاً مع افتراض أن درجة الحرارة عند هذا المستوى تمثل درجة الحرارة المرغوبة .

ويعتبر من المهم أيضاً اختيار موضع الثرموستات . وقد تتكون داخل المنشأة نتيجة للتهوية السيئة مناطق بها تيار هوائي ومناطق أخرى ساكنة . وقد لا تمثل درجة الحرارة المقاسة عند تركيب الثرموستات في أي من الموضعين درجة الحرارة الفعلية ؛ نظراً لاختلاف درجة الحرارة بينهما .

ويجب أيضاً توخي الحذر عند اختيار موضع الثرموستات ، حيث من المهم مراعاة عدم التأثير بدرجة الحرارة الخارجية . فقد تتأثر وحدة الإحساس ، ومن ثم درجة الحرارة المضبوط عليها الثرموستات عند تعرض الجهاز لأشعة الشمس المباشرة نتيجة التركيب مثلاً بالقرب من نافذة . وقد تساهم ملاصقة وحدة الإحساس لحائط خارجي أيضاً في عدم دقة التحكم في درجة الحرارة .

ولا بد أيضاً عند تركيب جهاز الحس الحراري من تفادي المساحات التي في مقدمة الدفايات أو مداخل الهواء ، حيث تعتبر تلك المناطق غير مثالية لدرجة حرارة الوسط . ويمكن اختيار مكان تركيب الجهاز في المنطقة التي تلي التقاء كل من الهواء

الداخل مع الهواء الدافئ، بحيث توجد فرصة للخلط بينهما مع استقرار واضح في درجة الحرارة. ويعتبر المكان البعيد عن متناول الحيوان وتيار الهواء الداخل وفتحات الدفائيات وبالقرب من منتصف المبنى من الأماكن الجيدة لتركيب جهاز الحس الحراري. ويمكن تطبيق نفس المنطق بالنسبة للبيوت المحمية مع الأخذ في الاعتبار المساحات المخصصة لكل من العمالة والأجهزة مع توفير الحماية للثرموستات من أشعة الشمس.

مرة أخرى، من المهم عند استخدام الثرموستات لحس درجة حرارة هواء مار في ماسورة تهوية أن يتم الحصول على قراءة ممثلة للهواء الداخل. ويجب اختيار موضع الحس في مكان ما في حالة إضافة حرارة أو في حالة عملية خلط لكميات ذات تأثير جوهري من الهواء البارد والساخن، وذلك بعد الوصول إلى الخلط الجيد. فعلى سبيل المثال، يجب تجنب تركيب عنصر الإحساس في مكان قريب من مخرج جهاز تدفئة.

أجهزة حس الرطوبة

(HUMIDISTATS)

يعتبر جهاز حس الرطوبة مائلاً لجهاز حس الحرارة باستثناء أن عنصر الإحساس المستخدم يحس نسبة الرطوبة بدلاً من درجة الحرارة. وتحتوي وحدة الإحساس على جزء يتمدد وينكمش على حسب الرطوبة النسبية للهواء، وفي الغالب ما يكون مصنوعاً من شعر الإنسان. وفي الغالب لا تكون استطالة معظم المراد خطية من صفر إلى ١٠٠٪. وقد يكون الشعر في حدوده المقبولة عند رطوبات منخفضة ومتوسطة. ويعتبر استخدام زوائد خلات السلولوز أكثر دقة عند الرطوبات المرتفعة للهواء كما هي الحال في مخازن البطاطس.

ويتبع آلية فصل أو وصل القدرة بالنسبة لجهاز حس الرطوبة نفس الشيء الخاص بجهاز حس الحرارة. فلا بد لعناصر القدرة أن تكون قادرة على إرسال قوة إلى مسافة كافية لتشغيل - مع سرعة استجابة - مفتاح الغلق الفجائي. وسوف يُعطي ضم عنصر القدرة مع مفتاح الغلق الفجائي تحويلاً قريباً ملازماً، عادة $\pm 0.4\%$.

ويوجد نوع آخر وهو مقياس الرطوبة الكهربائي الذي يعتمد في عمله على التغير في المقاومة الكهربائية لوحدة الإحساس مع تغير الرطوبة النسبية. وتعتمد أجهزة حس الرطوبة من هذا النوع - وهي الأكثر شيوعاً - على علاقة فريدة بين تركيز محلول ملحي والرطوبة النسبية. وقد يحدث عند تغير الرطوبة إما تبخير أو تكثيف للماء على سطح الملح، مما يؤدي إلى تكون طبقة سطحية رقيقة محصورة بقيمة توازن جديدة. وقد يؤثر التغير بدوره على التوصيل الكهربائي للسطح، والذي يمكن قياسه لإيجاد الرطوبة.

ومن المشاكل الرئيسية التي تواجه تلك الوحدات الحصول على طبقة ملائمة من المحلول الكهربائي، ومحاولة للحفاظ عليها في مكانها نظيفة. فقد يأخذ المحلول الكهربائي عند مستويات مرتفعة من الرطوبة كميات كبيرة من المياه، وقد يحدث تنقيط للماء حاملاً معه المحلول الكهربائي. وقد يؤدي تلوث السطح بجسيمات نواتج الاحتراق أو الغازات إلى زحزحة حادة للمعايرة.

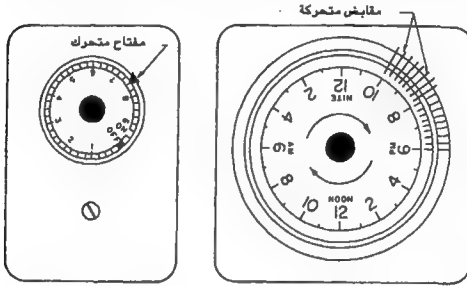
وتعتبر المحافظة على معايرة وحدات أجهزة حس الرطوبة المشكلة التقليدية. فيؤثر تجمع الأتربة والمواد الكيميائية على الجزء الحساس تأثيراً مباشراً على الاستجابة. وقد تُسبب الحشرات والتلفيات لوحدة القدرة أيضاً إزاحة للقراءات المستخدمة في المعايرة. ولا بد - للحصول على أفضل أداء للجهاز - من المحافظة عليه نظيفاً بقدر الإمكان.

أجهزة التوقيت

(TIMERS)

تعتبر أجهزة التوقيت الدورية - أو ذات الفترات المنتظمة - وأجهزة التوقيت ٢٤ - ساعة من أكثر أنواع أجهزة التوقيت الشائعة الاستخدام للتحكم الأساسي في أجهزة التهوية. ويوضح الشكل رقم (٥، ٤) تلك الأجهزة. ولكن يمكن إيجاد أنواع

أخرى من أجهزة التوقيت تُستخدم مع بعض أجهزة التهوية . وأجهزة التوقيت على فترات و أجهزة التوقيت ٢٤-ساعة عبارة عن مفاتيح غلق-فتح كهربائية تعمل بمحرك كهربائي ذي توقيت أو تزامن بسيطين . وتعمل ميكانيكية التوقيت في جهاز التوقيت لفة كاملة كل فترة زمنية . وتوجد أجهزة توقيت يتم ضبطها على فترات ٥ و ١٠ و ١٥ دقيقة و ١ و ٢ و ٤ ساعة . ويوجد أثناء تشغيل الجهاز فترة واحدة في أسلوب التشغيل وفترة أخرى موازنة في أسلوب الإيقاف . ويمكن ضبط الفترة التي يكون الجهاز فيها



جهاز توقيت مرهلي

جهاز توقيت ٢٤-ساعة

شكل (٥، ٤) . أجهزة توقيت نموذجية بالنسبة لتطبيقات التهوية في الزراعة .

في أسلوب التشغيل بين كل من فترة التشغيل الكامل أو الإيقاف الكامل . وتعتبر أجهزة التوقيت التي تعمل على فترات كل منها عشر دقائق الأكثر شيوعاً في تطبيقات التهوية ، كما تستخدم أيضاً كوسيلة للحصول على أقل معدل تهوية في الشتاء بجعل المروحة تعمل على أقل نسبة مختارة من الوقت . وتعمل أجهزة التوقيت المستخدمة ببساطة جنباً إلى جنب مع أجهزة الحس الحراري . ولكن يُفضل معظم القائمين على العمل - مع ظهور المراوح ذات السرعات المختلفة- استخدام المراوح التي تعمل باستمرار عند معدل تهوية منخفض بدلاً من التهوية على فترات .

وتعمل عجلة الساعة في جهاز التوقيت المقسم إلى ٢٤-ساعة دورة كاملة كل ٢٤ ساعة . وتحتوي تلك العجلة على أسنان مركبة حول الحافة الخارجية لسطح الساعة المتحرك، بحيث تحدث عملية التشغيل أو الفصل للحركة فقط عند اتصال هذا السن مع مفتاح فصل ووصل الحركة . وفي الغالب ما يكون هذا النوع مضبوطاً كل ١٥ دقيقة . ويتم باستخدام أي أعداد من هذه السنين فصل أو وصل الحركة العدد المرغوب من المرات في اليوم . وتوجد أيضاً أجهزة التوقيت التي تحتوي على سنين فقط بحيث يُستخدم أحدهما لوصل الحركة والآخر لفصلها . ويمتاز هذا النوع من الأجهزة بإمكانية التحكم في فترتي تشغيل وإيقاف المروحة كل على حدة، بحيث يمكن تغيير أي منهما دون الآخر . فيمكن على حسب الحالة زيادة أو تقليل فترة التشغيل عن فترة الإيقاف . ويمكن أيضاً مع هذا النوع من السنين التحكم في عدد فترات الفصل أو الوصل على مدار اليوم الكامل .

وتعتبر عملية ضبط التهوية في مخازن البطاطس أحد المناطق التي يتم فيها استخدام جهاز توقيت ٢٤-ساعة . ويمكن بمجرد تكييف أكوام البطاطس عند درجة الحرارة المرغوبة خفض معدل التهوية خفضاً جذرياً واستخدام طريقة التشغيل المتقطع للتحكم في درجة الحرارة .

ولابد من الأخذ في الاعتبار المعدلات الكهربائية الخاصة بكل من آلية الساعة والمفتاح عند اختيار جهاز التوقيت وعند تصميم النظام الكهربائي . ويكون النظام الكهربائي طبيعياً "نظيف" إذا استخدم مع كل من الساعة والمفتاح نفس فرق الجهد الكهربائي .

وتتوافر أجهزة التوقيت عند معدلات ١١٥ و ٢٣٠ فولت، بينما عادة تتوافر المفاتيح عند ٢٣٠ فولت، بحيث يمكن استخدامها أيضاً عند ١١٠ فولت . ولابد من مراعاة سعة تيار المفتاح مع تصميم النظام الكهربائي . ومع أنه يوجد لدى المفاتيح سعة كهربائية كافية بالنسبة للمحركات الكهربائية الصغيرة، إلا أنه لابد من استخدام مَرَحَل مع المحركات الكبيرة، ومع النظم ثلاثية الأطوار .

محركات المصاريع والمضاءلات

(SHUTTERS AND DAMPERS MOTORS)

تستخدم المصاريع والمضاءلات للتحكم في سريان الهواء في مداخل ومخارج الهواء في المنشآت المتهواة. ويتم تركيب الحواجز الهوائية ذات الستائر المعدنية أو الريش الخفيفة الوزن في مقدمة الماروح السالبة الضغط لمنع هواء الرياح من دخول المبنى في حالة إيقاف المروحة. وقد لا تقتضي الحاجة توصيل تلك الحواجز بمحرك التشغيل. فقد تكون سرعة الهواء والضغط الاستاتيكي الناتج من دوران المروحة كافيين لرفع الستائر والسماح للهواء بالدخول إلى المبنى. ويوصى بالنسبة للأنواع الأخرى من الحواجز بإتاحة استخدام أجهزة تحكم لهذه الستائر. فيوصى باستخدام محرك دوّار بالنسبة للحواجز الثقيلة الوزن للحصول على كفاءة تشغيل مرتفعة. ويتم توصيل الكهرباء إلى المحرك الخاص بالستائر على التوازي مع محرك المروحة بحيث يعملان أو يفصلان سوياً.

وقد تتطلب عملية التشغيل في حالة استخدام مصاريع خفيفة الوزن في أي من الفتح أو الغلق الكامل استخدام محرك كهربائي ذي عزم منخفض من النوع "Still-type". ويعتبر هذا المحرك أحادي الطور، ويمكن تشغيله في ظروف قد تتطلب وقتاً فجائياً للحركة بدون تلف للمحرك نفسه. ويحصل ذراع عزم عمود الإدارة بالمصراع من خلال وصلة. ويكون الذراع محمولاً على زنبرك بحيث يمكن الرجوع إلى وضع فصل الحركة عند إيقاف المحرك الكهربائي. ويدور العمود وذراع العزم عند تشغيل المحرك لتحريك المصراع خلال وصلة التشغيل حتى يصل إلى حدود الدوران. ويتوافر لدى موردي تلك المصاريع نوعان من تلك المحركات ١١٥ و ٢٣٠ فولت.

وتعتبر محركات المصاريع شائعة التوصيل على التوازي مع محركات المروحة. فينفتح المصراع بواسطة بادئ التشغيل عند تشغيل جهاز الحس الحراري للمروحة، كما يعمل زنبرك العودة على قفل المصراع عند فصل حركة المروحة.

وقد قامت عدة شركات بتطوير بادئات حركة دورانية أكثر تعقيداً عن تلك المستخدمة مع المحرك من النوع "Still-type". وقد تم توصيل تلك الوحدات لتعمل من خلال قوس حتى ٢٤٠ درجة. ويتم تجهيز الأنواع "غلق-فتح" أيضاً بمفاتيح إعادة إيقاف عند نهاية مشوار الحركة.

وتُصمم معظم بادئات التشغيل الدورانية في اتجاهين مع توافر اختيار زنبرك

العودة أيضاً. ويعتبر هذا التجهيز مهماً جداً في بعض التطبيقات؛ نظراً للقيام بتحديد اتجاه المصراع حتى في حالة فصل الحركة. وتتوافر مفاتيح مساعدة اختيارية مع بعض بادئات التشغيل الدوارة. فقد يُحتاج إلى مفتاح مساعد في بعض الأوقات لخدمة جهاز تابعي.

وتتوافر أجهزة تحكم من الأنواع "تشغيل-إيقاف" لتخدم ١١٥ فولت، ولكن لا بد من ضم محوّل إلى النظام بالنسبة لمعظم الوحدات المتناسبة مع المعدل ٢٤ فولت. وتتوافر المعلومات عن معدلات عزوم بادئات التشغيل في أدلة المصانع مثلها مثل سمات أخرى محدودة وأجهزة اختيارية.

وتستخدم بادئات دوارة نسبة لجعل المصاريع أو المضاعلات في مواضع بين الفتح والغلق على حسب التغيرات من نقطة الضغط. ويدور المحرك للوصول بنظام قنطرة داخلي إلى الاتزان مع جهاز الحس الحراري أو مع متحكم إلكتروني. ويتم التحكم في تطبيقات مثل مخازن البطاطس بواسطة جهاز حس حراري. ويمكن تشغيل مصراعين أو أكثر مع بعضهما البعض باستخدام توصيلة آلية، والتي تكون مطلوبة في بعض الحالات. مثال ذلك، قد يستلزم قفل مضادة هواء نقي فتح مضادة تقلب لتزويد المروحة.

منطقية التحكم

(CONTROL LOGIC)

تعتبر منطقية التحكم في التهوية في الجو الداخلي مرتبطة ارتباطاً مباشراً بأن يكون التصميم للتحكم في درجة الحرارة، وأن الاحتياج إلى تهوية إضافية يمثلها زيادة في درجة الحرارة، والتي يمكن حسنها بدقة بواسطة أجهزة التحكم في درجة الحرارة.

ويعتمد التحكم في فصلي الشتاء والصيف على فرض تأثر مستوى التهوية بدرجة حرارة المبنى. ومع أن ذلك قد يكون غير صحيح من الناحية الفنية أثناء التشغيل في الجو البارد، إلا أنه يمكن المحافظة على تحكم كاف من خلال الاستخدام لمراوح ذات أحجام ملائمة يتم التحكم فيها بواسطة أجهزة حسّ لدرجات الحرارة. ولا يوجد تحكم في التهوية عند استخدام الدفايات أثناء التشغيل في الجو البارد؛ ولكن يستخدم معدل تهوية ثابت نسبياً بالنسبة لكثافة تربية محددة من

الحيوانات. ويعتبر ذلك المعدل أقل معدل أساسي ويعتمد أساساً على وزن الحيوان. ولابد من تعديل أقل معدل للتهوية الأساسي يدوياً عند استخدام أجهزة تحكم تجارية. وتوجد بعض المنطقية في التحكم في التهوية بواسطة أجهزة حس الرطوبة إذا تم تصميم معدل التهوية في الجو البارد للتحكم في الرطوبة. وغالباً مايكون جهاز حس الرطوبة عرضة لمشاكل التشغيل، وقد لا تتوافر تجارياً أجهزة حس رطوبة ذات سرعات متغيرة. ولا تعتبر الرطوبة أيضاً مقياساً للمتطلبات التهوية بالنسبة للنظم المصممة للتحكم في الروائح الكريهة أثناء التشغيل في الجو البارد. ويرجع السبب في ذلك إلى ارتفاع معدلات سريان الهواء في تلك الحالة عن المعدل المطلوب للتحكم في الرطوبة، مما قد يؤدي إلى فقدان كفاءة جهاز حس الرطوبة للتحكم في التهوية.

مفاهيم أمنية (Safety Aspects). لابد من أخذ الاحتياطات الجادة عند تصميم نظام كلي؛ نظراً لأن معظم الأجهزة الكهربائية والميكانيكية وأجهزة التحكم عرضة للفشل في الأداء. ويجب أخذ انقطاع التيار الكهربائي باهتمام أكبر من مجرد للتحكم. ولابد أيضاً في تلك الحالة من أخذ نظام التحكم في الاعتبار. وسوف ينتج عن انقطاع التيار الكهربائي في فترة تشغيل في جو حار ارتفاع في درجة الحرارة. ويمكن تلافي ذلك عن طريق توصيل جهاز حس الحرارة بدوائر إنذار أو مصدر تيار كهربائي مساعد، وهكذا. ويمكن أن يؤدي انقطاع التيار الكهربائي في بعض الأوقات في الشتاء إلى نفس النتائج المؤثرة كالتي تحدث في الصيف. فقد تكون درجات الحرارة المنخفضة مهلكة لبعض الحيوانات والنباتات. ويمكن استخدام مُرَحِّل لدائرة الكهرباء أو جهاز حس الحرارة لتشغيل دائرة إنذار.

ويعتبر "الأمان في التعددية" المفهوم البسيط نسبياً لتقليل المخاطر الناجمة عن إخفاق مركبة ما داخل نظام في أداء مهمتها. فلا يمكن في الظروف الحرجة الاعتماد في نظام التشغيل الكلي على أداء وحدة تحكم مفردة أو على جهاز معين. فيتضمن التصميم الجيد أخذ الاحتياط بكافة أنواعه. فمثلاً يجب أن لا يتم التحكم في مروحتين في حيز حرج على جهاز حس حراري مفرد. فيتيح استخدام التحكيمات المزدوجة والدوائر الكهربائية وغيره مثلاً عنصراً من عناصر الأمان.

أجهزة التحكم ذات السرعات المتغيرة

(VARI-SPEEDS CONTROLS)

يعتبر حاليًا جهاز التحكم ذو الطور الإلكتروني والحالة الثابتة من أكثر أنواع أجهزة التحكم ذات السرعات المتغيرة والشائعة الاستخدام. فيعمل "مثلث ج" في جهاز التحكم على فصل التيار الكهربائي كل نصف موجة في فترة قصيرة من الوقت. ويؤدي ذلك إلى تقليل كفاءة الجهد الكهربائي الواصل إلى المحرك، وبالتالي إلى تغير سرعة المحرك. ويعتبر هذا النوع من التحكم ذا كفاءة؛ نظرًا لعدم فقد التيار الذي تم فصله في نصف الموجة.

ومع أن العديد من المحركات سوف تدار لفترة زمنية قصيرة مع عرض لبعض درجات التعديل، إلا أنه يجب مع جهاز التحكم استخدام محرك ذي مكثف منفصل دائم التحميل. ولا بد حتى يكون أداء المحرك جيدًا من توافر جهد كهربائي كاف لزيادة السرعة. ولا بد أن يكون للمحرك أيضًا قادرًا على العمل عند جهود كهربائية منخفضة بدون التعرض للتلف من التحميل الزائد، وغيره.

ويتم تصنيع أجهزة الحس والتحكم في درجة الحرارة اليدوية منها والآلية. وتستخدم أجهزة التحكم اليدوية في تطبيقات محدودة، ولكنها قد تكون مرغوبة جدًا في بعض التطبيقات الأخرى كما في عمليات الحلب. ويتم حس درجة الحرارة بجهاز الحس والتحكم الآلي عن طريق استخدام مقاوم حراري متصل بنظام قناطر إلكترونية. فيؤدي تغير نقطة ضبط الجهاز إلى تغير الجهد الكهربائي الواصل إلى المحرك، والذي يعمل بدوره على تغيير سرعة المحرك. وفي الغالب ما يكون لأجهزة التحكم الطورية موحد تحكم يتغير في المدى ما بين ٣ و ٦ م. وغالبًا لا يتيح المدى الأكبر من ذلك زيادة سرعة دورات الفتح والغلق. وتتضمن الدوائر الإلكترونية جهازًا لقياس الجهد الكهربائي مع إتاحة عملية تصحيح لنقطة الضبط المرغوبة، والتي غالبًا ما تكون في منتصف موحد التشغيل.

وغالبًا ما تتضمن تلك الدوائر عملية ضبط قيمة السرعة الدنيا، بحيث يمكن التحكم في مستويات التهوية مع ضمان عدم انخفاض سرعة المحرك عن الحد اللازم. وتحدد معظم مصانع إنتاج المراوح أقل معدل تشغيل للوحدة، كما تعمل على توفير الجداول الخاصة بالعلاقة بين معدلات سريان الهواء مع سرعة المروحة

(لفة/ دقيقة). ويمكن زيادة أقل سرعة مضبوطة إذا كان أقل سرعان مختار للهواء أعلى من أقل سرعة يمكن دفعها، ولكن يجب ألا تعمل المراوح عند معدلات أقل من الموصى بها. ويجب أن تتم عملية ضبط أقل سرعة للمحرك باستخدام مقياس لسرعة الدوران؛ نظراً لوجود اختلافات بين المحركات من جهة وأجهزة التحكم من جهة أخرى.

المُرَحَّلَات

(RELAYS)

المُرَحِّل ببساطة عبارة عن مفتاح تشغيل كهربائي. ويسمح المُرَحِّل بالتحكم في الحمل الأساسي للتيار الكهربائي المرتفع نسبياً؛ نظراً لأنه في الغالب ما تكون سعة دوائر التحكم الأساسية غير كافية للحمل الكهربائي. ويعتبر المُرَحِّل العمود الفقري في دوائر التحكم، حيث يمكن بواسطته التحكم عن بعد في الأجهزة وتنظيم عملية تشغيل أجهزة (interlocking) وكذلك التحكم في طرق تشغيل الأجهزة ثلاثية الأطوار، وغيرها.

ويتم التحكم في المحركات ثلاثية الأطوار باستخدام اصيل مغناطيسي للحركة عبارة عن مُرَحِّل ذي خدمة شاقة يتضمن وسائل حماية من الأحمال الزائدة والواقعة على المحركات. ولا تعمل تلك الطريقة على توفير فقط وسائل آلية للتحكم، ولكن تعطي أيضاً فعلاً تحويلياً إيجابياً سريعاً مع تقليل فقط التلامس القوسية.

ومن الطبيعي أن يتم استخدام عناصر التحميل الزائد من النوع الحراري بحيث تعمل على فتح دائرة التحكم عندما يكون التيار الكهربائي المستخدم أزيد من المطلوب. ولا بد من اختيار أحجام تلك العناصر لتلائم كل تطبيق محدد. ويمكن أن تتم عملية إعادة ضبط الأحمال الزائدة إما يدوياً أو آلياً.

ويمكن توصيل بادئات الحركة إما مع "تلامس مستمر" أو "تلامس متقطع". ويتم استخدام "التلامس المستمر" بالنسبة للتحكم الآلي مع جهاز فتح وغلق دائرة ملفات بادئ الحركة. ويستخدم "التلامس المتقطع" مع بعض الأجهزة لمنع إعادة التشغيل بعد انقطاع التيار حتى يتم مراجعة الأجهزة وإعادة تشغيلها يدوياً. ويوضح الشكل رقم (٦، ٤) هاتين الدائرتين لنوعين من أنواع بادئ الحركة.

البسيط الذي يمكن استخدامه باستمرار في تحديد مثلاً تشغيل دافية مع معدل سريان هوائي متغير. إذن، فقد يكون من الضروري تحديد المدى الذي يجب إلغاؤه بين التحكم في السرعة المتغيرة والدافية إلى أوسع من المرغوب، وذلك للتأكد قبل تشغيل الدافية من أن المروحة تعمل عند سرعتها الدنيا. وتحتوي بادقث التشغيل الدورانية على مفاتيح مساعدة للتشغيل عندما يصل الدور إلى حد معين.

وغالباً ماتتج الاقتصاديات والحجم الطبيعي للأجهزة تحكم المنطق في عملية الاختيار. وقد يكون هناك فرق جوهري صغير في سريان الهواء عند تشغيل مثلاً عشر مراوح بواسطة جهاز تحكم ذي سرعات متغيرة. وقد لا تتوفر في مبنى كبير مروحة واحدة بحجم يلائم العمل. وقد لا يكون أيضاً جيداً بالنسبة للمباني الصغيرة استخدام عشر مراوح صغيرة الحجم مع أجهزة الحس الحراري المصاحبة.

ويقود هذا المنطق إلى التصميم المنطقي الذي غالباً مايستخدم في العديد من نظم التهوية. فيتم توظيف مروحة متغيرة السرعات بالنسبة للمباني ذات الأحجام المتوسطة في التشغيل الشتوي عندما تكون معدلات التهوية المطلوبة منخفضة. ويعد ذلك إضافة للمراوح الثابتة التي تعمل بجهاز حس حراري في جو دافئ.

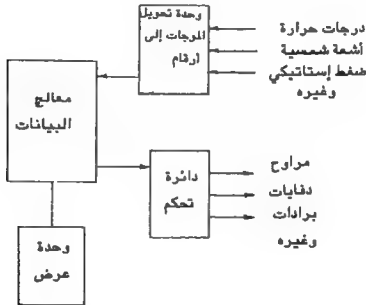
ويمكن عن طريق التحكم في كل جهاز على حدة الحصول على أحد أنواع التحكم على مراحل. فيتم مثلاً التحكم في المراوح عن طريق أجهزة حس حراري مع تغيير نقط الضبط. وقد يكون ذلك سهلاً، ولكن قد تنجم بعض المشاكل. فمن الصعب مثلاً تخطيط عملية بدأ تشغيل عشر مراوح في مدى ٦°م نظراً لتغير دقة التحكم.

وتوجد أنواع جديدة من أجهزة التحكم - وإن لم توجد في الأسواق بعد - لها القدرة على التغلب على المشاكل سابقة الذكر. وتعمل تلك الأجهزة بواسطة جهاز تغيير تردد مفرد يعترض سلسلة من مفاتيح فتح-غلق بالترتيب اعتماداً على مدى التغير من النقطة المرغوبة. ويستطيع جهاز حس درجة الحرارة إيقاف نظام التدفئة عند ارتفاع درجة الحرارة، كما يستطيع أيضاً تشغيل المراوح عند الاحتياج. وتعتبر تلك المفاتيح ذات ذفلة مزدوجة بحيث يمكن الحصول على أمر تشغيل أو إيقاف عند ارتفاع درجة الحرارة. ومع أنه يمكن تصور وحدة تحكم مفردة من هذا النوع قادرة على التحكم في نظام كامل، إلا أنه لا بد من الأخذ في الاعتبار بعناية النتائج التي قد تولد

عن الفشل في عملية التحكم .

التحكم في التهوية باستخدام معالج البيانات (MICROPROCESSOR VENTILATION CONTROL)

تؤدي طرق التحكم في الظروف البيئية داخل المنشآت الزراعية باستخدام أجهزة معالجة البيانات إلى زيادة دقة التحكم . وقد أصبح في الإمكان الحصول على مستوى التحكم المطلوب بنسب تغير لا تذكر حيث تضيف تلك الأجهزة السماح باستخدام منطقية التحكم واتخاذ القرار بالإضافة إلى الوظائف الأخرى لنظم التحكم . ويتكون نظام تحكم بواسطة معالج البيانات من جهاز معالجة البيانات ووحدتي تحويل البيانات ودائرة تحكم وأجهزة حس بيئية وبعض وسائل عرض وتسجيل البيانات مثل شاشة حاسوب آلي أو طباعة أو شريط مغناطيسي ، الشكل رقم (٤،٧) .



شكل (٤،٧). دائرة استخدام معالج البيانات

وتعتبر درجة حرارة الهواء الجافة ونقطة الندى وشدة الإشعاع الشمسي والضغط الإستاتيكي أمثلة عن المعلومات التي يتم استقبالها من أجهزة الحس المختلفة

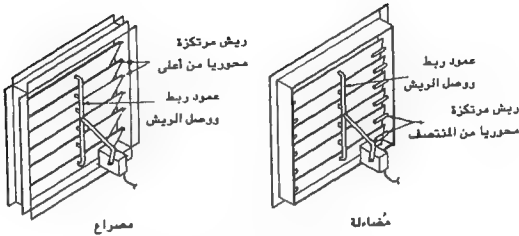
ثم تخزينها بعد تحويلها باستخدام معالج البيانات . ويقوم نظام المعالج المصغري بإرسال إشارات إلى دائرة التحكم التي تعمل على تشغيل أو إيقاف أجهزة التحكم البيئية المختلفة مثل الدفايات والمراوح وأجهزة التبريد حتى يتم الوصول إلى الظروف البيئية المرغوبة . وتعتبر نظم التحكم بواسطة معالج البيانات خطوة مهمة ورئيسية على طريق التحكم في الظروف البيئية في الحيز الهوائي بما تقدمه من دقة بالغة في عمليات تحكم معقدة . ويعتبر نظام التحكم باستخدام معالج البيانات النظام المتوقع استخدامه في المستقبل . ويعتبر النظام مكلفاً نسبياً ، ولكن يتوقع أن تنخفض التكلفة مع زيادة التطور والاستخدام .

المصاريع والمضاءلات

(SHUTTERS AND LOUVER DAMPERS)

يتم في الغالب التحكم في سريان الهواء من خلال الفتحات بواسطة مصاريع النوافذ ومثبتات الهواء ذات الستائر المعدنية . وتستخدم تلك الأجهزة مع المراوح لتجزئ سريان الهواء بين فتحات متعددة أو مواسير أو مخارج لطرد الهواء من داخل المباني ذات ضغط الهواء الإيجابي . ويوجد لكل من المصاريع والستائر ريش تسمح عند الفتح بمرور الهواء من خلال الجهاز ، كما تمنع مرور الهواء عند الغلق . ويوضح الشكل رقم (٨ ، ٤) هذين الجهازين . وفي الغالب تستخدم مصاريع النوافذ لمنع رجوع تيار الهواء إلى داخل المبنى ، بينما تستخدم المضاءلات للتحكم في معدل السريان مثل نسب خلط هواء من مصدرين مختلفين .

وتكون مصاريع النوافذ خفيفة الوزن تدور حول محور الحافة العلوية بعكس المضاءلات . وتستخدم وحدات عالية الجودة من النيلون أو أي مواد أخرى ذات معامل احتكاك منخفض كمرتكز أو محور نهائي . ويتم تماسك الريش في الوحدات الكبيرة مع بعضها البعض بواسطة عمود مشترك . ويسمح ذلك بتشغيل كل الريش بواسطة محرك النافذة عن طريق تحريك ريشة واحدة أو العمود المشترك . ويمنع العمود المشترك الرياح أو التغيرات في سريان الهواء من قلب الريش واشتباكها مع بعضها البعض ، مما قد يؤدي إلى الغلق الكامل للنافذة .



شكل (٨، ٤). المصاريح والمضخات

وسوف تُفتح النافذة الموجودة مباشرة في مقدمة مروحة من جراء سرعة الهواء العالية والواقعة على الجزء الخلفي من الريش مع وجود تأثير بسيط لضغط السرعة على المروحة. وقد يكون الانخفاض في سعة التهوية في أي الحالات صغيراً إلى حد الإهمال. وغالباً ما يكون الضغط الاستاتيكي في تلك الحالات كافياً ليؤثر عكسياً على أداء المروحة الرافعة. ويوصى في تلك التطبيقات بتزويد المصاريح بمحركات للتحكم في سريان الهواء. وقد نوقشت تلك الأجهزة قبل ذلك في هذا الفصل. ولا يعتبر استخدام تلك المصاريح ملائماً لحجز سريان الهواء ولو جزئياً؛ نظراً لخفة الوزن، ولكن يمكن أن تستخدم فقط مع تطبيقات الضغوط المنخفضة.

وتعتبر المضخات ذات ستائر ثقيلة الوزن وذات وحدات من ريش صلبة تدور حول المركز. وغالباً ما تكون الريش متصلة داخلياً مع عمود مشترك. وغالباً ما يتم التشغيل بواسطة محرك تحكم نظراً لوجود المحور في المركز أو بواسطة رافعة تثبت في الوضع بين الفتح الكامل والغلق الكامل. ويمكن ربط اثنين من تلك المضخات مع بعضهما البعض، بحيث فتح إحدهما يغلق الأخرى، وذلك للحصول على خلط ذي نسب متغيرة بين مصدرين من مصادر الهواء. وتقوم المصانع بتصنيع تلك المضخات على حسب الأحجام المرغوبة، وغالباً ما تستخدم تلك الوسائل في المواسير للتحكم في سريان الهواء. كما يتم التصميم أيضاً بحيث يمكن تبديل دوران الريش في

الاتجاهات المعاكسة . وتعمل تلك الوحدات على حجز سريان الهواء دون توجيهه جهة أحد أجناب الماسورة أو تغيير اتجاه سريان الدخول بزاوية معينة .
ويعتبر الصلب والألومنيوم من أكثر المواد الشائعة الاستخدام في التصنيع بالنسبة لمثبتات الهواء ومصاريع النوافذ على الترتيب . ويمكن استخدام مواد أخرى أو الدهان بواسطة مواد طلاء خاصة على حسب الحاجة مثل مقاومة النحر أو التآكل . وسوف تتجمع الأوساخ مع أي من الوحدات على الريش ونهايات المحاور . ويوصى بعملية التنظيف الدورية لكل من المصاريع والمضاعلات . وتعتبر عملية الصيانة الدورية مهمة للغاية خاصة مع المصاريع التي لا تعمل بواسطة المحركات . ويؤدي تراكم الأوساخ على الوحدات إلى زيادة الضغوط الإستاتيكي ، وبالتالي خفض معدل الهواء المدفوع بواسطة مروحة .

نظم التدفئة

(HEATING SYSTEMS)

غالباً ما يحتاج إلى أجهزة التدفئة في العديد من منشآت الإنتاج الحيواني ، خاصة في غرف الحلب وحظائر الحيوانات الرضعية وبيوت الطيور الصغيرة والبيوت المحمية ومع نظم تجفيف المحاصيل ومخازن الخضضر والفاكهة . ويحتاج إلى التدفئة في العديد من تلك المنشآت للمحافظة على درجة الحرارة الداخلية . وقد يتطلب الأمر في بعض الحالات تدفئة أماكن محددة عند استخدام معدلات منخفضة من التهوية مثل أرضية الحظائر وفي أماكن تجمع الطيور وفي عمليات التجفيف . وتستخدم مشتقات البترول والفحم والخشب كمصادر رئيسية للحرارة . ويتم أيضاً في بعض المنشآت استخدام المضخات الحرارية والمبادلات الحرارية والطاقة الشمسية .

نظم هواء دافئ (Warm Air Systems)

تتضمن الوحدات المستخدمة للتدفئة داخل المباني كلاً من مواقع تدفئة وأتومات تعمل بالجاذبية وأخرى بالهواء المدفوع والدفايات الكهربائية . ويتم عملية التدفئة مع المواقد بدون أغطية أساساً بواسطة الإشعاع . ويتم التدفئة بواسطة

الأتونات ذات الأغشية أو الدفايات الدائرية أساساً بواسطة الحمل . فيتم تقليب الهواء في السخان الدائري بين الموقد والغطاء من خلال فتحات عند كل من القمة والقاع .

وتعتمد نظم هواء-دافئ بواسطة الجاذبية على الحمل الطبيعي مع حركة الهواء . ولابد من وضع هذا النوع من الأتونات عند مستوى أقل من مستوى الحيز المراد تدفئته ؛ نظراً لأن تقليب الهواء يعتمد على الفرق في الوزن بين كل من الهواء البارد والدافئ . ويتطلب هذا النظام استخدام مواسير كبيرة يتم تركيبها بطول خط أفقي بين الأتون والمسجل . ويحتاج كذلك إلى مواسير لإعادة الهواء البارد بين الحيز والأتون لتوفير تقليب جيد للهواء . ولابد من تخطيط هذا النظام بعناية للحصول على توزيع متظم للتدفئة .

ولا يحتاج الأتون في نظم هواء-دافئ مع تقليب بالدفع إلى التركيب عند مستويات أسفل الحيزات المراد تدفئتها ؛ نظراً لوجود مروحة تقليب . ويساعد استخدام مروحة صغيرة مع هذه الأتونات على التقليل الطبيعي للهواء وزيادة كفاءة الوحدة . ويعني ضغط الهواء الإيجابي المتولد من المروحة إمكانية استخدام منقي للهواء ومواسير ضيقة طويلة وأفقية .

نظم ماء حار وبخار (Hot Water and Steam Systems)

قد تكون نظم استخدام ماء حار مثل نظم هواء-دافئ إما دفع مع تقليب أو دفع بواسطة الجاذبية . ويصبح الماء في نظام التسخين داخل الغلاية أقل وزناً ويرفع إلى أعلى نتيجة دفعه باستمرار بواسطة الماء البارد الأثقل وزناً والداخل إلى الغلاية . ويتم دوران الماء الساخن من خلال أنابيب ومشعات حرارية . وعادة يوجد في نظام الدفع بواسطة الجاذبية أنبوبتان رئيسيتان ، تعمل الأولى على تزويد الماء الساخن من الغلاية إلى المشعات ، بينما تعمل الأخرى على عودة الماء البارد إلى الغلاية . ولابد من تركيب الغلاية في نظام دوران الماء بواسطة الجاذبية عند مستوى أقل من أقل المشعات ارتفاعاً . ويجب تركيب الأنابيب بميل بحيث يعود الماء المتكثف مرة أخرى إلى الغلاية .

ويساعد تركيب مضخة تقليب صغيرة على زيادة حركة الماء، بحيث تكون الاستجابة لتغيرات درجة الحرارة أسرع. ويؤدي استخدام مضخة ومحرك كهربائي وأجهزة تحكم في نظام تقليب-مدفوع إلى زيادة التكلفة عن نظام الدفع بالجاذبية؛ ولكن يمكن استخدام أنابيب أصغر؛ نظراً لإمكانية تركيب المشعات عند مستويات أقل من مستوى الغلاية. وقد لا يحتاج الأنابيب في تلك الحالات إلى ميول في اتجاه المبادلات الحرارية. ويمكن استخدام نظام أنبوبة واحدة أو أنبويتين. ويحتوي نظام الأنبويتين على أنبوبة تزويد رئيسية تعمل على رفع الماء إلى كل مشع حراري. ويخدم خط الماء في نظام الأنبوبة الواحدة كلاً من عمليتي تزويد ورجوع الماء، مما يشكل دائرة مغلقة من وإلى الغلاية.

ويمكن أن تكون نظم التدفئة بالبخار إما نظام ذو أنبوبة واحدة أو أنبويتين. ويركب محبس بخار ألي عند فتحة الرجوع لكل مشع أو مع أي وحدة تدفئة أخرى للمحافظة على البخار داخل المشع، ويسمح كذلك بالماء المتكثف في التجمع في أنابيب الرجوع. ولا بد من أن يكون مستوى الغلاية أقل من أقل مستويات المشعات ارتفاعاً، إلا إذا استخدمت مضخة للعمل على إرجاع الماء المتكثف إلى الغلاية.

نظم التدفئة الكهربائية (Electric Heating Systems)

تستخدم الدفايات الكهربائية وكابلات التدفئة في تدفئة الحيزات. ويتوافر العديد من الدفايات الكهربائية للتركيب في الأماكن المراد تدفئتها. وقد تستخدم وحدات معلقة على الحوائط أو قد يدفن في السقف كابل التدفئة.

وتعتبر المضخة الحرارية وحدة تبريد ميكانيكي تتيح تدفئة شتوية وتبريداً صيفياً. فيتم امتصاص الحرارة في الشتاء إما من الهواء الخارجي أو الأرض أو الماء الأرضي. وتستخدم الدفايات الكهربائية في الأجواء الباردة كمصدر حراري تزويدي. وعامةً تستخدم نظم دفع هواء دافئ لتوزيع الحرارة.

المبادلات الحرارية (Heat Exchangers)

تصمم المبادلات الحرارية لامتصاص الحرارة المفقودة مع الهواء المطرود وإرجاعها مرة أخرى مع الهواء الداخل إلى المبنى. وتوجد محاولات لاستخدام

المبادلات الحرارية في حظائر الماشية ، ولكن يعتبر النجاح محدوداً ؛ نظراً لصعوبة التحكم في تراكبات الثلوج المتكونة من تكثيف الماء والأوساخ من الهواء . ويوجد نوعان من المبادلات الحرارية يستخدمان مع نظم التهوية . ومن الأسماء الشائعة الاستخدام المعوّضات (recuperators) والمجدّدات (regenerators) .

وتصمم المعوّضات بحيث يوجد سريان مستمر من كل من هواء دافئ وبارد خلال مواسير معدنية تحافظ على كل من السريانين منفصلين . ويتم انتقال الحرارة بالتوصيل من الهواء الدافئ من خلال مادة الماسورة إلى الهواء البارد . وتعتبر المبادلات الحرارية المتكونة من أعداد كبيرة من المواسير الصغيرة الحجم ذات مساحة تبادل حراري أكبر ، وبالتالي ذات كفاءة أعلى من المبادلات الحرارية ذات المواسير الكبيرة الحجم والقليلة العدد . ويصعب الاحتفاظ بتلك الأنواع من المبادلات داخل حظائر الماشية . فيؤدي تكثف الماء من هواء العادم الدافئ ؛ ثم تجمهده في المواسير إلى إعاقة سريان الهواء . كما يقلل تجمع الأتربة والأوساخ على المواسير من كفاءة المبادل الحراري . ويتم عمل الاحتياطات اللازمة عند استخدام تلك الأنواع من المبادلات في المنشآت الصناعية ، وذلك عن طريق التنظيف الميكانيكي الدوري .

ويتم مع المبادل الحراري من النوع المجدّد استخدام الطوب الحراري والأحجار والمعادن كأحواض حرارية . فيتم وضع الطوب الحراري أو الأحجار في غرفتين بحيث يمر كل من الهواء الدافئ والبارد على الغرفتين بالتبادل وعلى فترات . فيعمل الطوب الحراري والأحجار على امتصاص الحرارة من الهواء الدافئ ثم نقلها إلى الهواء البارد مع كل انعكاس في اتجاه السريان . وقد يحدث تراكبات للثلوج عند انخفاض درجات الحرارة إلى أقل من - ٢٥ م . وقد تستخدم مواد ملحبة في محاولة للتحكم في عملية تكوّن الثلوج .

وتستخدم أيضاً دوائر معدنية كمجدّدات . وتمر - بدوران الدوّار - الزوائد المعدنية الدقيقة بالتبادل من خلال تيارات الهواء الباردة والدافئة . ويعمل المعدن على امتصاص أو فقد الحرارة . وتعرض تلك الوحدات لنفس المشاكل الخاصة بتراكم الأوساخ والثلوج مثلها مثل المعوّضات .

المجمعات الشمسية (Solar Collectors)

تصمم للمجمعات الشمسية لتدفئة أنواع عديدة من المنشآت الخاصة بالإنتاج الزراعي. وتتأثر الطاقة الشمسية المتاحة بكمية السحب المتجمعة في الجو. وعامة تستخدم دفايات إضافية عندما تصبح درجات الحرارة منخفضة للغاية. وتوجد عمليات تقييم مستمرة لنظم تخزين الطاقة، حيث إن الهدف هو تخزين الطاقة للاستخدام عندما تصبح درجات الحرارة الخارجية منخفضة للغاية.

نظم تدفئة خاصة للزراعة (Special Heating Systems for Agriculture)

يتم في بعض الأحيان تدفئة الأرضيات لتوفير الراحة لكل من العاملين والماشية. وقد تستخدم تلك النظم أيضاً إلى حد ما في الإنتاج الزراعي للحد من تراكمات الثلوج. وقد تستخدم دفايات تحت أرضية الحظيرة في عمليات الحلب، حيث قد يتطلب الأمر انخفاضاً نسبياً في درجات الحرارة للحفاظ على راحة العاملين. وقد تستخدم تلك النظم أيضاً لتوفير أجواء دافئة في أماكن العجول الصغيرة مع المحافظة على ظروف باردة للحيوانات الكبيرة. ويستخدم لتوفير الحرارة في الأرضيات إما كابل تدفئة كهربائي أو نظم أنابيب ماء حار أو مواسير هواء مسخن.

وتعمل الدفايات المشعة في المباني ذات درجات الحرارة المنخفضة على تدفئة الأسطح المتجهة إليها لتوفير الراحة لكل من العاملين والحيوانات. وقد تستخدم لمبات تدفئة في كل من زريبة العجول الصغيرة وعنابر الدواجن وسقايف الأغنام. كما قد تستخدم أيضاً لتوفير الراحة للعاملين في حظائر الحلب الباردة وأماكن التسويق الزراعي. وتعمل لمبات التدفئة الكهربائية (١٥٠ إلى ٢٥٠ واط) بكفاءة إذا أمكن تعليقها نسبياً بالقرب من الأسطح المراد تدفئتها.

وتستخدم المواقد الدورانية لتدفئة الحيزات الصغيرة في المباني الباردة لحماية كل من الكتاكيت والعجول الرضيعة والأغنام المولودة حديثاً. ويعتمد حجم وشكل الدفائة الدورانية على نوع الحيوان المراد تدفئته. ويمكن - عند تدفئة تلك الوحدات - استخدام كل أنواع نظم التدفئة وكل أنواع الوقود المتوفر.

وتُصمم مجففات المحاصيل الزراعية بحيث يمكن دفع هواء جاف خلال كتلة من الحبوب أو أي مواد عضوية أخرى بغرض التخلص من الرطوبة. وغالبًا ما تستخدم حرارة في تلك العملية لتتسرع بعملية التجفيف. ويتم تركيب مشاعل في مجرى الهواء في بعض الوحدات لتوفير الحرارة، بحيث تمر نواتج الاحتراق من خلال المادة التي يتم تجفيفها. ويمر هواء التجفيف في بعض الوحدات الأخرى من خلال مبادل حراري لمنع الغازات للحرارة من الدخول إلى المادة المراد تجفيفها. وتعتبر المنتجات البترولية من وقود وغازات مواد الاحتراق الأساسية المستخدمة في عملية التجفيف. وقد تستخدم الكهرباء في تطبيقات محددة. وقد تم تطوير مجمعات شمسية بالنسبة للاستخدام الزراعي.

تنقية الهواء

(FILTRATION)

توجد عدة طرق متاحة لتقليل أتربة نواتج - الاحتراق. وتتوقف تكلفة عملية التنقية على أحجام الأتربة المراد إزالتها من داخل مبنى الحيوان المغلق. فيتطلب اختيار أفضل طرق التحكم في الأتربة أولاً معرفة كمية وحجم الجسيمات الواجب إزالتها من داخل المبنى. وقد وجد⁽⁹⁾ (Bundy and Hazen) أنه يمكن توقع كمية الأتربة بالنسبة لأحجام جسيمات محددة في مبنى خنازير مغلق. ولا تتوفر حالياً أي بيانات مماثلة لأصناف أخرى من الحيوانات.

وتوجد طريقتان أساسيتان للتحكم في تركيز الأتربة. وتكون أول تلك الطرق عن طريق خفض مصدر الأتربة. فقد تساعد محاولة تقليل نشاط الحيوان عن طريق تغذيته في فترة قصيرة ومحددة من تقليل تركيز الأتربة. وقد تقلل عملية التغذية الأرضية أو تقديم الغذاء مربوطاً وعلى شكل كور من تركيز الأتربة. ويجب بالنسبة للطيور عدم ترك فرشة الأرضية جافة، وذلك للحد من زيادة تركيز الأتربة في الجو.

وتعتبر عملية تجميع الأتربة والجسيمات بواسطة منقيات مصنوعة من الألياف أو أجهزة غسيل الغازات السائلة ضرورية لجذب تلك الجسيمات وخفض التركيز. وتستطيع المنقيات المصنوعة من الألياف حجز الأتربة أو الجسيمات في المدى الأقل من واحد ميكرون. وقد تحد تكلفة عملية التنظيف والإحلال لتلك المنقيات من

الاستخدام مع معظم الأنظمة. ونتيجة لذلك، يعتبر استخدام المقيّات المصنوعة من الألياف محدوداً بنوع التطبيق، حيث يجب أن يكون الهواء المراد تنقيته نظيفاً نسبياً. ويتم تقليل تركيز الأتربة في بعض عناصر الدواجن عن طريق استخدام رشاشات لترذيد الماء. وتعمل تلك الطريقة بكفاءة فقط في تجميع جسيمات الأتربة ذات الأحجام الأكبر من عشرة ميكرونات.

الترسيبات الإلكتروستاتيكية (Electrostatic Precipitation)

يعتبر استخدام التصريف الأكليلي من أكثر طرق التخلص من الأتربة شيوعاً. فيتم شحن قطرات الماء الصغيرة والجسيمات الأخرى الموجودة في الهواء عن طريق أيونات غاز تتشكل بواسطة انهيار كهربائي بالنسبة للغازات للحيطه. ويتم دفع تلك الجسيمات مع تيار الهواء في اتجاه مجمع الأقطاب الكهربائية.

وتتطلب طريقة الترسيب الإلكتروستاتيكية للتخلص من الجسيمات العالقة بالهواء شحنًا كهربائيًا للهواء الجوي. وتبدأ عملية الإنتاج الإلكتروني بتشكيل أكليلي نتيجة زيادة الجهد الكهربائي بين اثنين من الأقطاب الكهربائية. وتكون القيمة الخارجة بالنسبة للوحين متوازيين في هواء الجو حوالي ٣٠ كيلو فولت/سم بُعدي بين الألواح. وقد تحدث عملية شحن الأقطاب عند مستويات منخفضة من الجهود الكهربائية في حدود من ٦ إلى ٨ كيلو فولت إذا ما تم استخدام أسلاك رفيعة أو رؤوس إبر لعملية الشحن. ويعتمد الجهد الكهربائي على مدى دقة تلك الأسلاك أو الإبرة. وفي الغالب تستخدم الإبر؛ نظراً لما يسببه أكليل التيار المتذبذب من حركة تدبيلية للأجزاء المشحونة، بينما لا يُسبب فرق جهد التيار المستمر تلك الحركة.

ويحتوي الجو الطبيعي على حوالي ما بين ١٠٠٠ و ٢٠٠٠ من الجسيمات المتأينة في كل سم^٣. وتتكون عند سريان التيار جسيمات أيونية إضافية من الأشعة فوق البنفسجية في منطقة الأكليل المتوهج. وتحتوي هذه الغازات مع الأكاليل سالبة الشحنة على شحنة موجبة تتحرك جهة القطب الشاحن، منتجة إلكترونات حرة أكثر وأيونات موجبة بواسطة التأثير الجزيئي. وتتجمع الإلكترونات والأيونات ذات الشحنات السالبة وتزداد حركتها بواسطة المجال الكهربائي القوي حول القطب السالب. وتتناقص سرعة الإلكترونات والأيونات السالبة بزيادة المسافة من القطب

المشحون . وتعتبر أيونات غاز الأكسجين الأيونات الوحيدة التي عادةً ما تتولد مع الغازات سالبة الشحنة خارج منطقة الأكليل المتوهج . وتتحرك هذه الغازات جهة القطب الكهربائي المؤثر بسرعة تتناسب مع الشحنة التي تحملها تلك الغازات ومع كثافة المجال الكهربائي . وتستقبل جسيمات الأتربة في هذه المنطقة شحنتها السالبة^(١١) .

وتتحرك الإلكترونات الحرة في الجو مع أكليل موجب جهة السلك المشحون ، وذلك للمحافظة على منطقة الأكليل . وتتحرك أيونات الغاز الموجبة والمتشكلة بواسطة الدمج الجزئي عند سرعات أكثر انخفاضاً من سرعات الإلكترونات في المنطقة الأكيلية السالبة . ويؤدي ذلك إلى إنتاج أقل من التصادمات الأيونية أثناء تحركها جهة القطب المؤثر^(١١) .

شحن الجسيمات (Particle Charging)

توجد طريقتان أساسيتان لشحن جسيمات الأتربة . وتكون الطريقة الأكثر أهمية عندما تسبب جسيمات مجال كهربائي تشويهاً موضعياً للمجال بحيث تتقاطع خطوط المجال الكهربائي مع جسيمات الأتربة . ويعرف ذلك إما بالقذف الإلكتروني أو شحن مجال-تابع . وتميل الأيونات الموجودة في المجال إلى الحركة في الاتجاه الخاص بأقصى انحدار جهدي ، أي تبعاً لخطوط المجال الكهربائي . وسوف يؤدي اعتراض الأيونات للجسيمات إلى شحن لتلك الجسيمات . وتستمر جسيمات الأتربة في اكتساب شحنات كهربائية حتى تصل شحنة الجسم إلى قوة كافية للانحراف بعيداً عن خطوط المجال الكهربائي إلى الحد الذي لا تقطع جسيمات الأتربة المجال . ويُقال عند هذا الحد إن الجسم في حالة تشبع وأن الشحنة في حالة اتزان .

وترتبط النظرية الإلكترونية-مستاتيكية كلاً من كمية المجال الكهربائي في منطقة الشحن وحجم الجسيمات والعازل الكهربائي للجسيم . ونظراً لأن شحنة التشبع تتناسب مع مربع قطر الجسم ، فإن الجسيمات الكبيرة الحجم هي الأسهل في التجمع عن الجسيمات الصغيرة .

ويعتمد الوقت المطلوب لاكتساب جسيم لشحنة تشبع على عدة عوامل ، ولكن

قد يصبح الوقت مُقارباً باقتراب الجسيم من درجة التشبع . وقد تحدث عملية الشحن حتى درجة التشبع في أجزاء من الثانية فقط إذا دخل جسيم مفرد مجالاً ذا كثافة أيونية مرتفعة . ولكن قد يكون وقت الشحن حتى التشبع كبيراً نسبياً عند ظروف تحميل مرتفعة من الأتربة .

وتكون آلية شحن المجال - التابع أقل أهمية بالنسبة للجسيمات ذات قطر (٢٠، ١ ميكرون) . فتتم عملية شحن تلك الجسيمات أساساً بواسطة الانتشار ؛ ويكون التصادم بين الجسيمات وأيونات الغاز محكوماً إلى حد كبير بواسطة الحركة الحرارية للأيونات . ونظراً لعدم وجود حد أقصى للسرعات الحرارية ، فإنه لا توجد قيمة تشبعية بالنسبة لتلك الجسيمات الترابية الصغيرة . ولكن قد تتزايد احتمالات التأثير مع زيادة الشحنة ، وبالتالي يتناقص المعدل الذي عنده تصبح تلك الجسيمات الصغيرة مشحونة .

وتوضح نظرية الشحن الجسيمي عدة عوامل مهمة تحكم أداءات التجميع . فتعتمد كمية الشحن الجسيمي بالنسبة لشحن مجال - تابع على قوة المجال الكهربائي ، أي أن قوة المجال تحدد القوة التي تؤثر على الجسيم المشحون ؛ وعلى ذلك يجب المحافظة على قوة المجال مرتفعة مثلها مثل الجسيم . ويعتبر معدل شحن الجسيم أيضاً مهماً ؛ نظراً لأن زيادة حمل الأتربة يعني أيضاً زيادة الوقت المطلوب لشحن تلك الأتربة حتى التشبع .

ويمكن إيجاد قوة المجال الكهربائي بواسطة العناصر الإلكترونية وستاتيكية . ويتضمن ذلك كلاً من هندسة الترسبات والجهد الكهربائي المستخدم والعناصر الخاصة بشحن - الحيز . ويمكن أن يبدل تصميم الرسب من هندسة كل من قطب التفريغ الكهربائي والحيز . ويمكن أن يبدل التغير في هندسة القطب الكهربائي أيضاً من التيار الأكليلي ، مما قد يؤثر على المجال الكهربائي .

وتحدد عملية تراكم الأتربة على أقطاب التجميع الكهربائية من الجهد الكهربائي ، وبالتالي من قوة المجال الكهربائي الذي من خلاله يعمل الرسب . ويعتمد الانخفاض في الجهد على كل من كثافة التيار الأكليلي والمقاومة الكهربائية للأتربة وسمك طبقة الأتربة المتراكمة على السطح المجمع . ويمكن أن يصل الانحدار في الجهد عبر سمك طبقة أتربة متجمعة بالنسبة للأتربة ذات المقاومة المرتفعة من ١٠ إلى

٢٠ كيلو فولت.

وتعتبر عملية إصدار الشرارة شرطاً آخر مرتبطاً مع مقاومة الأتربة المرتفعة بحيث يمكن أن تؤثر على شحن الجسيمات. وسوف تتشكل فوهة شرارية تُنتج مجالاً كهربائياً موضعياً مرتفعاً بدرجة كافية لبدء تشكل أكليلي. وسوف يتولد أيون موجب يتصادم مع جسيمات الأتربة المتجمعة مع وجود عملية استقطاب معاكس لما هو مطلوب للتجميع^(١٠).

تجميع الجسيمات (Particle Collection)

تعتبر القوى المتولدة عن كل من الجاذبية الأرضية وعزم القصور الذاتي والكهرباء والحرارة والديناميكا الهوائية من القوى التي تعمل على شحن الجسيمات في الجو. وتعتمد القوى الأساسية المؤثرة على الجسيمات على حجم تلك الجسيمات وشحنة المجال وسرعة الهواء. وتعمل قوة المجال الكهربائي وشحن الجسيم بالنسبة لجسيم محمول بواسطة تيار هوائي على الاتجاه ناحية القطب الكهربائي.

وتعتمد القوة الأكبر والمؤثرة على الجسيم على كل من حجم الجسيم وسرعة الهواء. وتكون حركة الجسيم بطول الخط المحدد عبارة عن محصلة الجمع الاتجاهي للقوى؛ ولكن تتم عملية التجميع بدخول الجسيم إلى الطبقة الحدية لسطح التجميع حيث يكون سريان الغاز رقائقياً.

ويجب التخلص من الأتربة أو الغبار السائل بمجرد التجميع. ويتم ذلك عن طريق دفع سريان مائي إلى أسفل سطح التجميع أو عن طريق هز القطب الكهربائي مما يؤدي إلى الإزاحة الميكانيكية للأتربة. ولا تعتبر عملية التخلص من الغبار السائل مشكلة حيث يتم الصرف الطبيعي من على سطح التجميع.

التأثيرات الفسيولوجية لتأين الهواء

(Physiological Effects of Air Ionization)

تعتبر عملية تأين الهواء وتأثيره الفسيولوجي من أكثر الموضوعات جدلاً في الأبحاث. وتوجد الأيونات في الجو عند تراكيز من ١٠٠٠ إلى ٢٠٠٠ لكل سم^٣.

ويكون ذلك حوالي ١ أيون لكل ١٠^{١٢} من الجسيمات. وهناك العديد من البحوث العلمية المنشورة التي تتضمن تأثير الأيونات على كل من الطيور والخنازير. وقد وجد تغير كبير بين النتائج المتحصل عليها^(١٢).

وقد تضمنت دراسة أجريت في جامعة جورجيا عن استخدام أيونات الهواء السالبة وتأثيرها على الخنازير على مدى ٣٠ يوماً^(١٣). وقد أوضحت الدراسة عدم وجود أي فروق بالنسبة لكل من النشاط ومعدل زيادة الوزن ومعامل تحويل الغذاء في فترة إجراء التجربة.

وقد أوضحت دراسة أخرى أجريت على كل من الخنازير والدواجن وجود نتائج متضاربة^(١٣). فقد أوضحت ثلاثة اختبارات الحصول على نتائج متضاربة خاصة عند دراسة تأثير أيونات قطبية على معدل زيادة الوزن للخنازير. وقد أوضحت ثلاثة اختبارات أخرى عدم وجود أي تأثير للأيونات القطبية على معدل زيادة الوزن. وقد أوضح اختبار واحد فقط أن زيادة الأيونات الموجبة كان ضاراً. وقد وجد في اختبارات أخرى على حيز ساكن تحسن في زيادة الوزن مع كل من الأيونات الموجبة والسالبة عن تلك التي تم إجراؤها تحت الظروف الطبيعية. وقد كان الفرق في معدل الزيادة الوزنية واضحاً في بعض الاختبارات بحيث لا يمكن إغفال تأثير الأيونات القطبية.

وقد وجد أيضاً تباين في النتائج في اختبارات مماثلة مع مجموعات من ٥٠ إلى ٦٠ من طيور السمان اليابانية. وقد تم إجراء ست تجارب مع بيئات ذات أيونات قطبية مختلفة من عمر يوم إلى ٢٨ يوماً. وقد وجد في جميع التجارب باستثناء تجربة واحدة انخفاض الأوزان مع مجموعة الأيونات السالبة عن أي من المجموعة الموجبة أو مجموعة الأيونات الطبيعية^(١٣).

المراجع

- 1 ASHRAE. 1979. Handbook and product directory: Equipment. Am. Soc. Htg., Ref. and Air Cond. Engrs., New York.
- 2 AMCA. 1974. Standard 210: Laboratory methods of testing fans for rating. Air Mov. and Cond. Assoc., Arlington Hts., IL.
- 3 AMCA. 1982. Directory of licensed products. Air Mov. and Cond. Assoc., Arlington Hts., IL.
- 4 AMCA. 1975. AMCA fan application manual, Part 1—Fans and systems. Air Mov. and Cond. Assoc., Arlington Hts., IL.
- 5 Albright, L. D. 1975. Air moving efficiencies of ventilating fans. ASAE Paper No. NA75-304, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
- 6 Smeaton, R. W. 1969. Motor application and maintenance handbook. McGraw-Hill Book Co., New York.
- 7 Vosper, F. C., L. H. Soderholm, J. F. Andrew and D. S. Bundy. 1982. Microcomputer control of livestock environment. Paper presented at the 2nd International Livestock Environment Symposium, Ames, IA. April 20-23.
- 8 Nutting, A. 1963. Air filter techniques. ASAE Paper No. 63-935, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
- 9 Bundy, D. S. and T. E. Hazen. 1975. Dust levels in swine confinement systems associated with different feeding systems. TRANSACTIONS of the ASAE 18(1):137-139, 144.
- 10 Oglesby, S., Jr., and G. B. Nichols. 1970. A manual of electrostatic precipitator technology. pp. 1-165. Prepared under contract CPA 22-69-73 for The National Air Pollution Control Administration. Southern Research Institute, Birmingham, AL.
- 11 Strauss, W. 1966. Industrial gas cleaning. Vol. 8. Pergamon Press, Ltd., New York.
- 12 Brown, R. H. and B. J. Stone. 1965. Air ionization in the environment of farm animals. TRANSACTIONS of the ASAE 8(1):15-17.
- 13 Dobie, J. B., T. E. Bond, R. L. Givens, H. Heitman, Jr., F. C. Jacob, C. F. Kelly, C. M. Sprick, and W. O. Wilson. 1966. Effect of air ions on swine and poultry. TRANSACTIONS of the ASAE 9(6):883-886.
- 14 USDA. Your farm house heating. U.S. Dept. of Agricultural Miscellaneous. Publication No. 689. February 1962.
- 15 Marks, L. S. 1951. Heat saving methods. Mechanical Engineer's Handbook. McGraw-Hill Book Co., New York, 5th Edition, page 835.
- 16 Witz, R. L., G. L. Pratt, M. L. Buchanan. 1976. Livestock ventilation with heat exchangers. TRANSACTIONS of the ASAE 19(6):1187-1192.
- 17 MWPS. 1977. Structures and environment handbook. Midwest Plan Service, Iowa State University, Ames, Ninth edition.
- 18 Muehling, A. J. and D. R. Daum. 1961. Electric cable for swine. University of Illinois, Extension Service, Urbana. Circular 830. March.
- 19 Purchase, G. H. 1977. Farm poultry management. USA, Farmers Bulletin 2197. June.
- 20 McKenzie, B. A. 1966. Selecting a grain drying method. Cooperative Extension Service, Purdue University, Lafayette, IN. A.E. 67. October.

التهوية الطبيعية* (NATURAL VENTILATION)

- أساسيات التهوية الطبيعية • توجيه المبنى
- فتحات التهوية الطبيعية في المباني الباردة
- تهوية العلية

تحدث التهوية الطبيعية نتيجة حركة الهواء من خلال فتحات خاصة في المباني، وذلك باستخدام القوى الطبيعية المتولدة عن الرياح أو فرق درجات الحرارة. ويعتمد معدل التهوية على سرعة واتجاه الرياح وتداخل العوائق القريبة من قمم ومباني وتصميم وتحديد موضع مداخل ومخارج الهواء. وتختلف التهوية الطبيعية عن التهوية الميكانيكية في أن الأخيرة تحتاج إلى طاقة ميكانيكية لعمل فرق ضغط ضروري لحركة الهواء.

وتعتبر التهوية الطبيعية من أقدم طرق التهوية، حيث تستخدم على مدار الزمن طالما تم توفير المأوى للحيوانات. ويعتبر هذا النوع من التهوية ببساطة من أكثر طرق التهوية شيوعاً؛ نظراً لانخفاض كل من التكاليف الابتدائية وتكلفة الطاقة. ولكن يعتمد هذا النوع من التهوية على القوى الطبيعية والتي في الغالب ما تكون متغيرة. ونتيجة لذلك، فهناك أوجه قصور وتحفظات كثيرة عند استخدام هذه الطريقة. وتتضمن أوجه القصور عوامل مثل طبيعة المناخ والمساحة الجغرافية وتضاريس الأرض وعوائق الرياح والمتطلبات البيئية وغيرها من العوامل التي يجب أخذها في الاعتبار عند تصميم نظام تهوية طبيعية والإدارة الملحقة به.

* ميلو أ. هيلكسون : جامعة ولاية داكوتا الجنوبية - بروكينس
شارلس ن. هينكل : جامعة بوردهو - لافايت الغريبة
دونالد ج. چيديل : جامعة إلينوي - أربانا

أساسيات التهوية الطبيعية

(FUNDAMENTALS OF NATURAL VENTILATION)

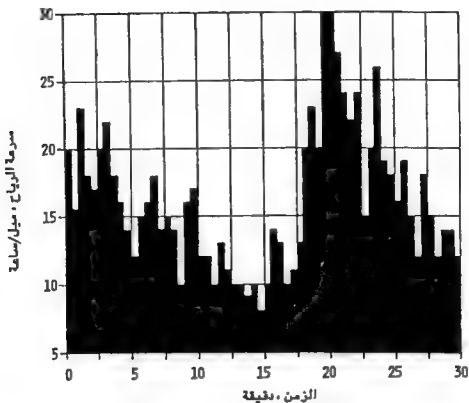
(Natural Forces Involved) القوى الطبيعية المتضمنة

تعتمد القوى الطبيعية المتاحة لتحريك الهواء إلى داخل أو خارج المباني على:

(أ) قوى الرياح ، (ب) الفرق في درجة الحرارة بين داخل وخارج المبنى . وقد تحدث حركة الهواء بواسطة أي من هذين العاملين بمفرده أو بواسطة العاملين معاً، وذلك اعتماداً على الظروف الجوية وتصميم وموضع المبنى . فهناك تباين في معدلات التهوية المتحصل عليها نتيجة لتغير سرعة الرياح واتجاهها و فرق درجة الحرارة . ويجب أن تتم عملية تحديد مكان فتحات التهوية وطرق التحكم فيها بحيث تعمل القوتان المتولدتان عن كل من الرياح و فرق درجة الحرارة جنباً إلى جنب وليس ضد بعضهما البعض .

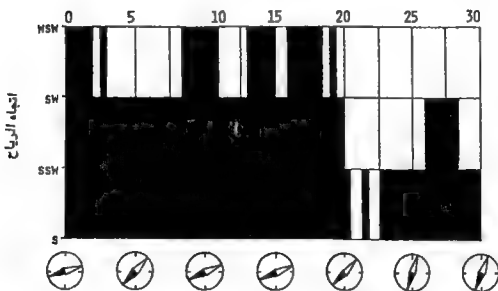
(Wind Characteristics) خصائص الرياح

تتغير الرياح من حيث المقدار والاتجاه بمعدل ثابت، وذلك كما هو موضح في الشكلين رقمي (١، ٥) و (٢، ٥) . ويوضح هذان الشكلان التغيرات التي تم رصدها خلال فترة زمنية مقدارها ٣٠ دقيقة بمعدل قراءة لكل نصف دقيقة^(١) . وليس شائعاً بالنسبة للرياح أن تتغير بنسبة $\pm ١٠٠\%$ عن القيمة المتوسطة خلال فترة زمنية مقدارها خمس دقائق . وتكافئ التغيرات في ضغط سرعة الرياح خلال فترة زمنية مقدارها خمس دقائق أو تكون أكبر من الضغوط المستخدمة في العديد من القوى العاملة في نظم تهوية المباني الزراعية^(١) . ويوضح الجدول رقم (١، ٥) أمثلة عن مقدار وتردد كل من سرعة الرياح والضغوط^(١) . ويوضح الشكل رقم (٢، ٥) التغيرات في اتجاه الرياح نتيجة للتغير في السرعة . وفي الغالب ما يحدث تغير في اتجاه الرياح داخل مدى مقداره حوالي ٢٢، ٥ درجة إلى الأمام أو إلى الخلف، ولكن قد يصل هذا المدى أحياناً من ٤٥ إلى ٦٧، ٥ درجة^(١) .



شكل (١، ٥). تغير سرعة الرياح مع الزمن
(كُتِبَتْ من (Hinrichs and Wolfert⁽¹⁾).

الزمن ، دقيقة



شكل (٢، ٥). تغيرات التردد والكمية في اتجاه الرياح
(كُتِبَتْ من (Hinrichs and Wolfert⁽¹⁾).

جدول (٥، ١) التغيرات في المقدار والتردد لسرعة الرياح وضغط السرعة
كثفت من (Hinnichs and Wolfert)^(١).

الوقت (دقيقة)	١	٢	٣	٤
التغير في سرعة الرياح				
أقصى	٣,١	٥,٤	٨,٥	٨,٩
أقل	صفر	٠,٤	٠,٩	٢,٧
متوسط	١,٣	٢,٦	٣,٥	٥,٠
التغير في ضغط سرعة الرياح				
أقصى	٥,٨٥	١٧,٤٠	٤٣,٥٨	٤٧,٨١
أقل	صفر	٠,١٢	٠,٤٧	٤,٢٨
متوسط	١,٠٤	٤,١١	٧,٢٢	١٤,٩٤

قوى الرياح (Wind Forces)

يؤدي سريان الهواء الناتج عن حركة الرياح حول مبنى إلى إحداث مناطق ذات ضغط إستانتيكي أعلى أو أقل من الضغط الإستانتيكي لتيار الهواء البعيد عن حركة الرياح. ويعبر عن سرعة الرياح بمقدار الضغط الخارجي الواقع على المبنى. وقد يكون هذا الضغط : (أ) موجباً، أي يتم دفع الهواء إلى داخل المبنى من خلال المداخل. (ب) سالباً، أي يتم سحب الهواء من الداخل إلى الخارج، (ج) متعادلاً، أي لا يسبب أي حركة للهواء.

وتتناسب الضغوط الساكنة فوق أسطح المباني مع ضاغط السرعة لتيار الهواء غير المضطرب. ويمكن التعبير عن مكافئ ضاغط السرعة بالنسبة لسرعة رياح معلومة كالآتي :

$$P_v = 0.60(V_w)^2 \quad (P_v = 0.000482(V_w)^2) \quad (٥, ١)$$

حيث :

P_v = ضاغط السرعة، باسكال (بوصة ماء)

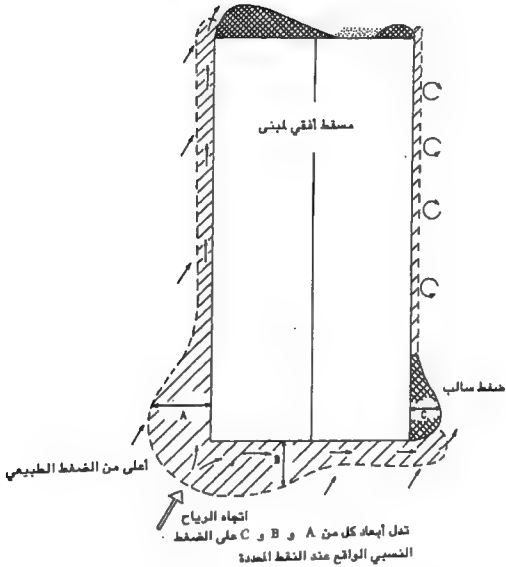
V_w = سرعة الرياح، م/ث (ميل/ساعة)

وجدير بالذكر أن ثوابت المعادلة قد حُسبت على أساس أن كثافة الهواء ١,٢ كجم/م^٣ (٠,٧٥ رطل/قدم^٣). وتتغير قيم الضغوط الإستاتيكية حول المباني على حسب شكل المبنى واتجاه الرياح ومقاومة الشقوق والفتحات وسرعة الرياح الفعلية والمؤثرة على سطح المبنى.

ويمكن أولاً تحديد الموضع الخاص بالمساحات ذات الضغوط باستخدام اتجاه الرياح. ويلاحظ أنه من النادر ما يكون الضغط خلال أي مساحة منتظم التوزيع. ويتولد ضغط موجب من طاقة الحركة للهواء عند اصطدام الرياح بمبنى. ويتحول هذا الضغط إلى ضغط سالب بمرور الهواء بطول أو بنهاية المنشأة، وذلك كما في الشكل رقم (٣,٥). وعامة تكون الضغوط موجبة بالنسبة للجانب في مهب الرياح، أما الضغوط التي على جوانب المبنى الأخرى فقد تكون سالبة، وذلك على حسب زاوية اتجاه الرياح. ويعتمد الضغط الإستاتيكي على سطح مبنى على نوع مادة السطح. وعامة تكون الضغوط سالبة بالنسبة للسطح المستوي أو الأسطح ذات الميول البسيطة، ولكن تكون الضغوط موجبة بالنسبة للأشكال الجمالونية في الجانب المواجه للرياح وسالبة في الجانب الآخر غير المواجه للرياح.

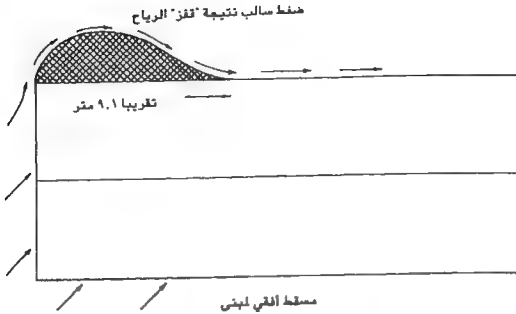
ويلاحظ أن الهواء لا يتبع حدود المبنى بعد مروره عليه، لأن القوة الدافعة للهواء سوف تحمله بعيداً عن الحواف السطحية والزوايا. ويُطلق على القوة التي تُسبب مساحات ذات ضغوط سالبة بالقفزة "jump". وتتولد تلك القفزة: (أ) بطول أول ١,٩ متر من الجانب الطولي للمبنى غير المواجه للرياح كما في الشكل رقم (٤,٥)، و(ب) أول ١,٩ متر بطول السطح المواجه للرياح كما في الشكل رقم (٥,٥)، و(ج) بعرض السطح الكلي غير المواجه لاتجاه الرياح كما في الشكل رقم (٦,٥). ومن المهم أن نذكر أنه دائماً ما يكون هناك ضغط سالب بطول أو ملاصق لحافة المبنى الطولية، وذلك بغض النظر عن اتجاه الرياح. ويعتبر اتساق هذا الضغط السالب من العوامل التي يمكن استخدامها لتحسين أداء نظم التهوية الطبيعية^(١).

ويلاحظ أن الرياح التي تهب في اتجاه المحور الطولي للمبنى تؤدي إلى حدوث فرق ضغط أكبر من الذي تسببه الرياح لو كانت في اتجاه متعامد على حافة المبنى الطولية. ويوضح الشكلان رقم (٧,٥) و(٨,٥) أنه يمكن الحصول على نفس الاتساق من الضغوط عند تغير اتجاه الرياح داخل المدى $\pm 20^\circ$ درجة عن الاتجاه

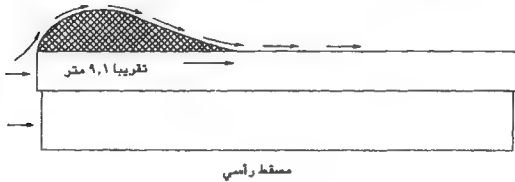


شكل (٥,٣). مواضع مناطق الضغط الملاصقة لنهايات وجوانب مبنى طويل
(كُيِّفَت من ⁽¹⁾ Hinrichs and Wolfert).

الموازي للحافة. ولكن يلاحظ أن زحزحة اتجاه الرياح بمقدار من ٢٠ إلى ٣٠ درجة قد تؤدي إلى انعكاس الضغوط انعكاساً كاملاً بالنسبة للجوانب المقابلة للمبنى، وذلك

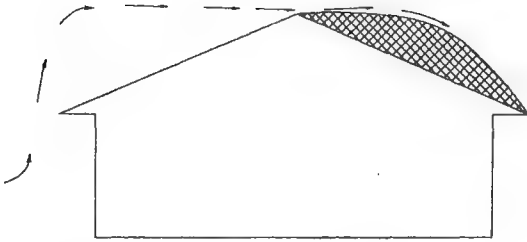


شكل (٥,٤). ضغط سالب نتيجة "قفز" الرياح بطول الجانب المواجه للرياح
لمبنى طويل (كُتِفَت من ⁽¹⁾Hinrichs and Wolfert).



شكل (٥,٥). ضغط سالب نتيجة "قفز" الرياح بطول نهاية السطح المواجه
للرياح (كُتِفَت من ⁽¹⁾Hinrichs and Wolfert).

كما في الشكل رقم (٥,٧). وتعمل الرياح المتوازية على إحداث ضغط سالب مؤثر
بطول سطح المبنى، وذلك من خلال مسافة مقدارها ٩,١ متر ملاصقة لنهاية المبنى
من الناحية التي تهب منها الرياح، كما في الشكل رقم (٥,٨). وقد تُصبح حركة



شكل (٥,٦). ضغط مالم بطول جانب السطح المواجه للرياح (كثفت من
(1) Hinrichs and Wolfert).

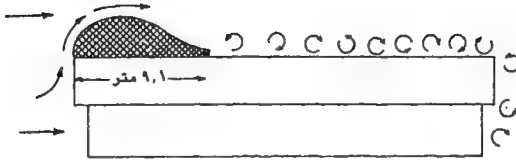
الهواء دوامية بعد هذه المسافة، مما قد ينتج عنها بعض الضغوط الموجبة الخفيفة. وقد تحدث بالمعنى الحرفي قفزات "bounces" للهواء كإحدى ظواهر مجرى الهواء عند زاوية تقريباً من ١٥ إلى ٢٠ درجة من الخط الموازي لجانب المبنى، وذلك كما هو موضح في الشكل رقم (٥,٧). ويصل الضغط الإستاتيكي الملاصق للثلاثة أمتار الأولى من المنشأة من ١,٥ إلى ٢ مرة الضغط الطبيعي. وينخفض هذا الضغط إلى ١٥٪ من الضغط الطبيعي على بعد ستة أمتار من نهاية المبنى. وقد يصل هذا الضغط تدريجياً إلى متوسط يمثل حوالي ٧٠٪ من الضغط الطبيعي بطول القطاع المواجه للرياح.

وتماثل الأنماط السلوكية للضغوط الواقعة على مبنى نتيجة هبوب رياح في اتجاه متعامد، في مدى ± 35 درجة من الاتجاه المتعامد، وذلك كما هو موضح في الشكلين رقماً (٥,٩) و (٥,١٠). وتكون اتساقات الضغوط عندما تكون الرياح في اتجاه قطر شكل المبنى متماثلة إلى الضغوط في حالة ما إذا كانت الرياح متعامدة، ولكن تكون الضغوط نوعاً ما أقل. وقد تنعكس الضغوط عند نهايات المبنى في الجهة التي لاتواجه الرياح في حالة زحزحة اتجاه الرياح من ١٥ إلى ٢٠ درجة عن الاتجاه المتعامد. أما بالنسبة للحواط الجانبية، فتنعكس الضغوط عند زحزحة اتجاه الرياح بمقدار ١٨٠ درجة.

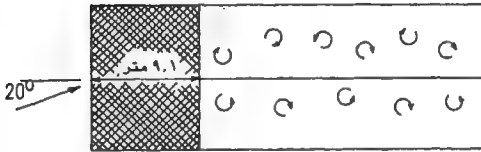


شكل (٥,٧). مناطق الضغط الموجب والسالب والمتعادل الملاصقة للأجانب بطول مبنى (كُتبت من ^(١)Hinrichs and Wolfert).

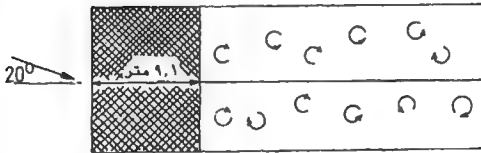
ويسبب هبوب رياح في اتجاه متعامد على سطح المبنى المواجه للرياح ضغوطاً موجبة أو سالبة أو خليطاً من الموجب والسالب اعتماداً على خصائص السطح. ومن الطبيعي أن تؤدي الأسطح الجمالونية ذات الميول البسيطة إلى ضغوط سالبة، بينما تؤدي الأسطح الجمالونية ذات الميول الحادة إلى ضغوط موجبة. ويبين الجدول رقم



A. مسقط رأسي



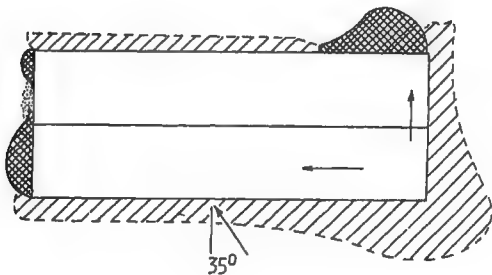
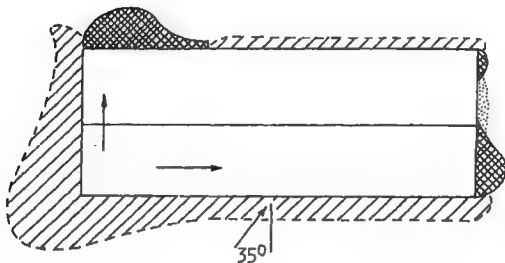
B. مسقط أفقي



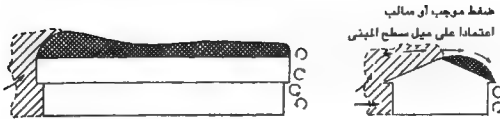
C. مسقط أفقي

شكل (٨، ٥). مناطق الضغط الموجب والسالب والمتعادل المتولدة بواسطة رياح موازية لسطح مبنى (كُتبت من ⁽¹⁾Hinrichs and Wolfert).

تنعكس الضغوط على النهايات المقابلة لمساحة المبنى
عند زحزحة اتجاه الرياح بمقدار من ١٥ إلى ٢٠ درجة



شكل (٩، ٥). مواضع مناطق الضغط الموجب والسالب والمتعادل والملاصق
لنهايات مبنى طويل والمتولد بواسطة رياح متعامدة على المحور الطويل
(كُتبت من ^(١)Hinrichs and Wolfert).



شكل (١٠، ٥). مواضع مناطق الضغط الموجب والسالب والمتعادل الملاحظ
لسطح مبنى طويل والمتولد بواسطة رياح متعامدة على حافة السطح العلوية
(كُتبت من (Hilrichs and Wolfert^(١)).

(٢، ٥) تأثير سطح وشكل المبنى على أنماط الضغوط بالنسبة للمنشآت الجمالونية^(٢).
ويعني المعامل ذو القيمة السالبة أن الضغط ذو قيمة سالبة، ويجب ضرب قيمة
المعاملات من الجدول رقم (٢، ٥) في قيمة الضغط الناتج من المعادلة رقم (١، ٥)،
وذلك للحصول على الضغط الواقع على مبنى محدد.

جدول (٢، ٥). معاملات التشكل لأحمال الرياح على سطح جمالوني مواجهة
للرياح؛ منشأة محكمة الغلق^(٢) (Agricultural Engineering Yearbook).

ميل السطح					
طول/عرض ١:١٢	١٢:٢	١٢:٣	١٢:٤	١٢:٦	
٠,٣٤-	٠,٢٤-	٠,١٣-	٠,٠٣-	٠,١٢	٠,١
٠,٦-	٠,٤٧	٠,٢٧-	٠,٠٦-	٠,١٢	٠,٢
٠,٦-	٠,٦-	٠,٤١-	٠,١٨-	٠,٠٨	٠,٣
٠,٦-	٠,٦-	٠,٥٣-	٠,٣٣-	٠,٠١	٠,٤
٠,٦-	٠,٦-	٠,٦-	٠,٤٤-	٠,١٤-	٠,٥
٠,٦-	٠,٦-	٠,٦-	٠,٤٩-	٠,٢٠-	٠,٦
٠,٦-	٠,٦-	٠,٦-	٠,٥٧-	٠,٣٠-	٠,٧
٠,٦-	٠,٦-	٠,٦-	٠,٦-	٠,٣٥-	٠,٨
٠,٦-	٠,٦-	٠,٦-	٠,٦-	٠,٣٩-	١,٠ أو أكثر

السريان نتيجة الرياح (Flow due to Wind)

من العوامل التي يجب أخذها في الاعتبار للحصول على تهوية من قوى الرياح الطبيعية: (أ) متوسط سرعة الرياح، (ب) اتجاه الرياح السائدة، (ج) التغيرات اليومية والموسمية لسرعة واتجاه الرياح، و(د) تأثير المعوقات على حركة الرياح مثل المباني القريبة وقمم الجبال والأشجار أو أي إضافات أخرى. وتزود (ESSA) قيم السرعات المتوسطة للرياح بالنسبة لأماكن مختلفة في الولايات المتحدة، الجدول رقم (٥، ٣)^(٣). وفي الغالب ما تكون سرعة الرياح في فصل الصيف أقل منها في فصل الشتاء بنسبة الثلثين بالنسبة لمعظم المناطق السائدة الرياح. ويختلف الشكل رقم (٥، ١١) في الصيف عنه في الشتاء. بينما لا يعطي الجدول سرعات متوسطة أقل من ٢، ٢٤ م/ث، (معظم السرعات تقع ما بين ٢، ٢٤ و ٤، ٥ م/ث). ويعتبر المتوسط الموسمي فيها أكبر من ٢، ٢٤ م/ث. وهناك بيانات أخرى عن سرعة واتجاه الرياح متوافرة بالنسبة لمناطق أخرى إضافية^(٣). وللتأكد من الحصول على تهوية كافية عند سرعات رياح أقل من المتوسط الموسمي، فإن حساب السرعة التصميمية لمعدل التهوية باستخدام ضغط الرياح يكون على أساس نصف المتوسط الموسمي.

ونظراً لكثرة التغيرات في الظروف الجوية، فإن استحداث معادلة نظرية لحساب معدل التهوية نتيجة لقوى الرياح يُعد أمراً محدوداً للغاية. وتُعطي المعادلة التجريبية التالية نتائج تقريبية عن معدل التهوية:

(٥، ٢)

$$Q = EAV$$

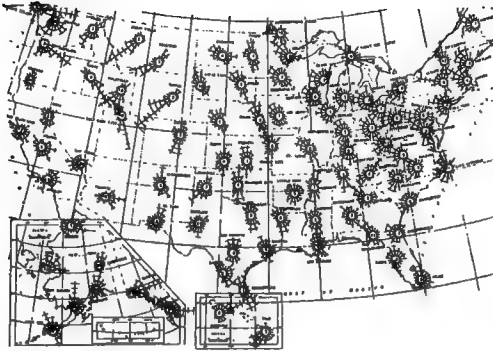
حيث:

$$Q = \text{معدل سريان الهواء، م}^3/\text{ث}$$

$$A = \text{مساحة فتحة التهوية، م}^2$$

$$V = \text{سرعة الرياح، م/ث}$$

$E = \text{كفاءة فتحة التهوية (تأخذ E القيمة من ٠,٥ إلى ٠,٦، بالنسبة للرياح المتعامدة على فتحة التهوية، ومن ٠,٢٥ إلى ٠,٣٥، بالنسبة للرياح المائلة على سطح الفتحة، وتستخدم القيمة ٣٥، بالنسبة للمباني الزراعية).}$



شكل (١١، ٥). ارتفاعات الرياح السطحية للولايات المتحدة (من ESSA⁽³⁾)

جدول (٥,٣) . سرعة الرياح المتوسطة بالنسبة لأماكن مختارة في الولايات المتحدة (المصدر: أطلس المناخ للولايات المتحدة، وزارة التجارة الأمريكية، (ESSA)^(٣) .

الولاية والمكان	متوسط سرعة الرياح م/ث	الولاية والمكان	متوسط سرعة الرياح م/ث
آلاباما، موبيل	٣,٥	ميسوري، سبرنج فيلد	٥,٨
آلاسكا، أنكور	٣,٠-	مونتانا، جريت فولس	٦,٢
أريزونا، فونيكس	٢,٤	نبراسكا، أوماها	٥,٢
أركانسا، ليتل روك	٣,٩	نيفادا، لاس فيجاس	٤,٣
كاليفورنيا، ساكرامنتو	٤,٢	نيوجيرسي، نيوارك	٤,٤
كولورادو، دنفر	٤,٥	نيومكسيكو، ألبوكيرك	٣,٨
كينتاكيكات، هارت فورد	٤,٣	نيويورك، ألباني	٣,٨
واشنطن، حي كولومبيا	٣,٩	كالورانيا الشمالية	٣,٤
ديلاوير، ويلمنجتون	٣,٨	داكوتا الشمالية، فارجو	٦,٤
فلوريدا، أورلاندو	٤,٣	أوهايو، كولومبوس	٣,٧
جورجيا، أطلانتا	٥,٤	أوكلاهوما، مدينة أوكلاهوما	٦,٢
هاواي، هونولولو	٤,٠	أوريغون، سالم	٣,٢
أيداهو، بوي	٥,٤	بنسلفانيا، هاريس بيرج	٣,٣
إلينوي، سبرنج فيلد	٥,٤	رود أيلاند، بروفيانانس	٤,٨
إنديانا، إنديانابوليس	٤,٨	كارولينا الجنوبية، شارلستون	٤,١
أيوا، ديس مويس	٥,٤	داكوتا الجنوبية، هيرن	٥,٣
كانساس، توبيكا	٥,٠	تينيسي، فوكس فيك	٣,٤
كينتاكي، ليكسنجتون	٤,٥	تكساس، أوستن	٤,٣
لويزيانا، نيو أورلنس	٤,٣	يوتا، مدينة البحيرة المالحة	٣,٩
مين، بورتلاند	٤,٦	فيرمونت، برلنجتون	٣,٧
ميريلاند، بالتيمور	٤,٦	فيرجينيا، رونوك	٣,٧
ماسيتوسس، بوسطن	٥,٩	واشنطن، سبتل-تاكوما	٤,٨
ميشيغان، جراند رابيدس	٤,٤	فيرجينيا الغربية، شارلستون	٢,٨
ميني سوتا، مينابوليس	٥,٠	ويسكونسن، ماديسون	٤,٥
ميسيسيبي، جاكسون	٣,٢	يوميغ، كاسبر	٥,٩

ويجب أن تكون مداخل الهواء بقلل الإمكان في اتجاه متعامد بالنسبة لمعظم الرياح السائدة. وغالباً ما يوصى باستخدام القيمة ٣,٥ بالنسبة للمباني الزراعية، حيث نادراً ما تكون الرياح متعامدة على فتحة التهوية. وقد ينخفض معدل التهوية إذا

ما تم تركيب فتحات التهوية دون أخذ اتجاه الرياح في الاعتبار. أما إذا تم تركيب فتحة التهوية مع الأخذ في الاعتبار لاتجاه الرياح، فإن معدل التهوية سوف يكون أعلى قليلاً من أرقام المعدل الناتج من المعادلة رقم (٥, ٢). ويتم في الغالب وضع مداخل الهواء على الحوائط الجانبية ومخارج الهواء على سطح المنشأة. ولكن نجد أن سلوكيات الضغوط الخارجية تتغير تغيراً جذرياً مع اتجاه الرياح، الأشكال أرقام من (٤, ٥) إلى (١٠, ٥). ونتيجة لذلك، فإن أي فتحة تهوية يمكن أن تكون إما مدخلاً أو مخرجاً للهواء، أو الحالتين معاً.

مثال

احسب معدل سريان الهواء من مبنى إنتاج حيواني بطول ٣٠ م ذي تهوية طبيعية وذلك من خلال فتحة تهوية بطول المبنى وعرضها ٨, ٠ م علماً بأن سرعة الرياح ٩ م/ث.

الحل

$$Q = E(A)(V)$$

حيث :

$$Q = \text{سريان الهواء، م}^3/\text{ث}$$

$$A = \text{مساحة مقطع المدخل، م}^2$$

$$V = \text{سرعة الرياح، م}^3/\text{ث}$$

$$A = (٣٠ \text{ م}) \times (٨, ٠ \text{ م}) = ٢٤٠ \text{ م}^2$$

$$E = ٠, ٣٥ \text{ (قيمة طبيعية بالنسبة للمباني الزراعية)}$$

$$Q = (٠, ٣٥) \times (٢٤٠ \text{ م}^2) \times (٩ \text{ م}^3/\text{ث})$$

$$Q = ٧٥٦ \text{ م}^3/\text{ث.}$$

القوى المتولدة عن فرق درجات الحرارة

(Temperature Difference Forces)

يتولد انحدار في الضغط نتيجة للفرق في كثافة الهواء عندما تختلف درجة الحرارة داخل مبنى عن درجة الحرارة الخارجية. فعندما تكون درجة الحرارة الداخلية

أدفاً من الخارجية، فإن الهواء الدافئ داخل المبنى سوف يرتفع إلى أعلى نتيجة التمدد بقوة طفو تعادل وزن هواء الإحلال الخارجي. وهذا ما يُشار إليه بالمدخنة أو تأثير التكدمس. وسوف يحدث سريان الهواء إلى داخل المبنى عند مستويات منخفضة ليحل محل الهواء الدافئ المتمدد والمطرود عند مستويات مرتفعة. وتتم هذه العملية بالنسبة لحظيرة إنتاج حيواني مهواة تهوية طبيعية بدون أي تدخل من سرعة الرياح الخارجية.

ويتناسب معدل سريان الهواء الناتج من تأثير الطفو مع كل من فرق الضغط والفرق في الارتفاع بين مداخل ومخارج الهواء. ويمكن تحويل فرق الضغط إلى فرق في درجات الحرارة باستخدام القوانين العامة للغازات. وتكون سرعة الهواء الخارج من المخرج:

$$V = 0.5 (2g(H)(T_i - T_o)/T_i)^{0.5} \quad (٥,٣)$$

حيث:

V = سرعة التصريف، م/ث

θ = معامل اختزال سيتم مناقشته في الفقرة التالية

g = عجلة الجاذبية، م/ث^٢

H = الفرق في الارتفاع بين فتحتي دخول وخروج الهواء، م

T_i = درجة حرارة الهواء الداخلية بالدرجة المطلقة، ك

T_o = درجة حرارة الهواء الخارجية بالدرجة المطلقة، ك.

ويتوقف معامل الاختزال على الفوائد نتيجة لاحتكاك الهواء مع الأسطح الداخلية للمواسير. وقد يحدث بعض التبريد للهواء عند مروره من الداخنة أو التكدمس خلال أي جزء معرض (إلى الخارج)؛ ويجب استخدام معامل تقلص الهواء عند دخوله إلى الماسورة. ويقترح (Barre and Sammet)^(٥) استخدام قيم لهذا المعامل تتراوح من ٠,٣ إلى ٠,٥. وبالمثل فقد أوضح (ASHRAE)^(٤) أنه يمكن استخدام القيمة ٠,٦٥، ٠,٧ في حالة افتراض تركيب مادة عازلة على الجزء الخارجي من الماسورة لتقليل فوائد التبريد.

السريان نتيجة تأثيرات درجات الحرارة

(Flow Due to Temperature Effects)

يمكن حساب معدل السريان بضرب السرعة في المساحة . وغالباً ما يكون معدل السريان المطلوب بالنسبة لتهوية حظيرة حيوانات معلوماً، بينما تكون المساحة المطلوبة غير معلومة . أيضاً يجب استخدام كل من مساحات مداخل ومخارج الهواء بالنسبة للتهوية الطبيعية باستخدام قانون الطفو . ويمكن تجميع تلك المساحات مع المعادلة رقم (٥،٣)، ويكون الناتج كالاتي:

$$(Q/A)^2 = \theta^2(2g)(H)(T_i - T_o)/T_i \quad (٥،٤)$$

حيث :

Q = معدل التهوية ، م^٣/ث

ويمكن تحويل المعادلة رقم (٥،٤) عند تساوي مساحة مقطع كل من المدخل والمخرج إلى :

$$A = (Q/\theta)(T_i/2g(H)(T_i - T_o))^{0.5} \quad (٥،٥)$$

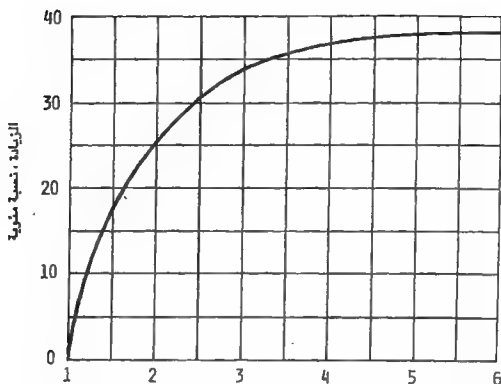
ويمكن في حالة عدم تساوي المساحات تصحيح معدل السريان باستخدام الشكل رقم (٥،١٢).

وقد تم استنباط المعادلتين رقمي (٥،٤) و (٥،٥) للاستخدام مع نظام تهوية من نوع التكدس أو الداخنة، ويمكن أيضاً تطبيقهما على المباني ذات فتحات التهوية سواء المركبة في السقف أو على الحوائط الجانبية . ويمكن اعتبار المبنى ككل في هذه الحالة كجزء من الداخنة مع مساواة مساحة فتحة المدخل مع مساحة فتحة المخرج . ويعرف الارتفاع هنا بالمسافة الرأسية بين كل من مدخل ومخرج الهواء .

التأثيرات المجمعة لكل من ضغط الرياح وفرق درجات الحرارة

(Combined Wind Pressure and Temperature Difference Effects)

يعتمد اتساق فروق الضغط عبر هيكل مبنى على كل مصادر الضغوط الفعالة وعلى توزيع الفتحات داخل المبنى . وعادة ما تكون الظروف المحددة سواء العظمى أو الدنيا مطلوبة في حسابات التصميم، وقد تهيم في أغلب الأحيان قوة واحدة فقط تحت هذه الظروف . ولكن قد يكون من الضروري في حالات أخرى وخاصة

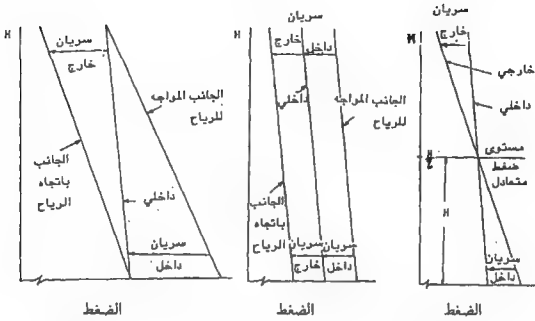


شكل (١٢، ٥). زيادة السريان نتيجة زيادة فتحة على أخرى

(من (ASHRAE⁽⁴⁾).

مع المباني الطويلة اعتبار قوى الضغط مجتمعة. وفي الغالب ما يكون لكل مبنى مشكلة فريدة، ويمكن وصف طبيعة عمل القوى من حيث الكمية بالرجوع إلى الشكل رقم (١٣، ٥)^(٤). وتمثل هذه الإيضاحات توزيع كل من الضغوط الداخلية والخارجية على مبنى ذي فتحات تهوية متكافئة من حيث المساحة مع إهمال المقاومة الداخلية لسريان الهواء من أعلى إلى أسفل. ويجب ملاحظة أنه في حالة عمل القوتين معاً حتى مع التداخل، فإن سريان الهواء المتولد لا يساوي المجموع الكمي للقوتين. ويتناسب السريان خلال أي فتحة مع الجذر التربيعي لمجموع الضغوط المؤثرة على الفتحة.

ويلاحظ أنه من الصعوبة بمكان التنبؤ بكل من سرعة الرياح واتجاهها ودرجة الحرارة الخارجية ومعدل التهوية المستخدم. وتكون أبسط طريقة للتنبؤ عن طريق



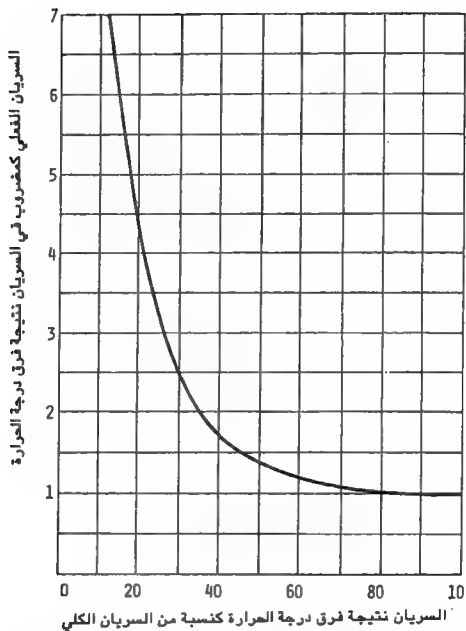
- (أ) فعل تكلس فقط ، (ب) فعل رياح فقط ، ضغوط ذات (ج) تجميع فعل كل من
 ضغط متعادل عند كميات متساوية على الجانبين التكدس والرياح
 $H/2$ المواجه وباتجاه الرياح

شكل (١٣، ٥). توزيع الضغوط الداخلية والخارجية بالنسبة لارتفاع مبنى
 (من (ASHRAE⁽⁴⁾).

حساب مجموع التدفقات من كل قوة على حدة، ثم استخدام نسبة السريان المتولد من القوى الحرارية إلى السريان المتولد من قوى الرياح، ويعتبر السريان الفعلي هو محصلة تلك القوى. ويمكن تقريب الناتج باستخدام الشكل رقم (١٤، ٥). ويكون السريان الفعلي أكبر بحوالي ٣٠٪ من السريان المتولد من أي من القوتين^(١).

مثال

مبنى إنتاج حيواني بطول ٣٠ م وعرض ١٢ م وارتفاع الحائط الجانبي ٤ م ونسبة ميل سطح المبنى ٤ : ١٢. تتم تهوية هذه المنشأة طبيعياً عن طريق فتحة بطول المبنى وعرضها ٠,٨ م، والمبنى ذو سطح جمالوني ولا يوجد سقف. احسب معدل سريان الهواء لهذه المنشأة إذا كانت درجة الحرارة الخارجية -٢٠ م° وسرعة الرياح ٥ م/ث.



شكل (١٤، ٥). إيجاد السريان المتولد من تجميع قوى كل من الرياح وفرق درجات الحرارة (من ASHRAE^(٤)).

الحل

أولاً : إيجاد معدل سريان الهواء نتيجة قوى الرياح باستخدام المعادلة رقم (٢، ٥) :

$$Q = EAV$$

حيث :

$$0,35 = E$$

$$(0,08)(30)(2) = A$$

$$2,8 \text{ م}^2 =$$

$$V = 0,5 \text{ م}^3/\text{ث}$$

$$Q = (0,35)(2,8)(0,5 \text{ م}^3/\text{ث})$$

$$= 0,49 \text{ م}^3/\text{ث}$$

ثانيًا: إيجاد معدل سريان الهواء نتيجة القوى الحرارية باستخدام المعادلة رقم

:(٥,٣)

$$V = \theta (2g(H)(T_1 - T_0)/T_1)^{0.5}$$

حيث :

$$\theta = 0,13$$

$$g = 9,81 \text{ م}^2/\text{ث}^2$$

H = الفرق في الارتفاع بين المدخل والمخرج

$$T_1 =$$

$$T_1 = 273 + 20 = 293 \text{ ك}$$

$$T_0 = 273 + 20 = 293 \text{ ك}$$

$$V = 0,13 \times (2 \times 9,81 \times (293 - 293) / 293)^{0.5}$$

$$= 0,184 \text{ م}^3/\text{ث}$$

$$Q = A(V)$$

$$= (0,184 \times 2,8 \text{ م}^2) =$$

$$= 0,518 \text{ م}^3/\text{ث}$$

ثالثًا: إيجاد معدل السريان التقريبي باستخدام الشكل رقم (٥, ١٣):

السريان الكلي $Q_1 = 0,49 \text{ م}^3/\text{ث}$ و $0,8 \text{ م}^3/\text{ث}$

$$= 0,17 \text{ م}^3/\text{ث}$$

والنسبة المئوية للسريان الحراري $= (0,17 / 0,8) \times 100\%$

$$= 21,2\%$$

وبما أن السريان الفعلي - بناءً على الشكل رقم (١٤، ٥) - يعادل ١,٢٧ مرة السريان الناتج من القوى الحرارية ،
 إذن السريان = ١,٢٧ (٨,٨) م^٣/ث = ١١,٢ م^٣/ث .

توجيه المبنى

(BUILDING ORIENTATION)

تعتبر مباني الإنتاج الحيواني ذات الواجهة المفتوحة التحدي في عملية الاتزان بين كل من مداخل ومخارج الهواء . بديهيًا ، يجب على المصمم الأخذ في الاعتبار للظروف الجوية المحلية والخبرات عند دراسة كيفية المحافظة على أفضل تحكم في التيار الهوائي . فقد يكون في بعض الأماكن توجيه واجهة المبنى المفتوحة إلى الشرق هو المفضل ، ولكن في معظم الأماكن يجب توجيه واجهة المبنى المفتوحة نحو الجنوب ، وذلك للحصول على أقصى منفعة من حيث اختراق شمس الشتاء بالإضافة للحصول على تحكم مناسب للرياح .

وتوضح دراسة على المساحات المعرضة لضغوط هوائية - كما في الشكل رقم (٥، ٣) - ما قد يحدث عندما تكون واجهة المبنى المفتوحة في الجهة التي تهب نحوها الرياح . فعلى سبيل المثال ، قد يتولد ضغط سالب على الناحية الغربية من الجانب الجنوبي وضغط موجب بطول الجانب المفتوح إذا كان اتجاه الرياح من الشمال الغربي والجانب الجنوبي من المبنى مفتوحًا . ويرجع السبب في ذلك إلى دوران الهواء من الجانب الشرقي إلى الجانب الغربي من المبنى ، وخاصةً بطول الحائط الخلفي . ويمكن التحكم جزئيًا في هذا التيار بتركيب حواجز صلبة بطول المبنى . وفي الغالب ما يوصى بوضع الحواجز على مسافات ١٥ مترًا أو في منتصف المسافة بالنسبة للمباني التي يقل طولها عن ٣٠ مترًا^(٢٧) .

ويُفضل توجيه مباني الإنتاج الحيواني المغلقة والتي يتم تهويتها طبيعيًا في اتجاه شرق - غرب . ويعمل هذا التوجيه على اكتساب المبنى لأقصى طاقة حرارية من شمس الشتاء المنخفضة ، كما يقلل من اختراق شمس الصيف المرتفعة . أما إذا كان توجيه المبنى في اتجاه شمال - جنوب ، وكان هناك جانب أو جوانب من المبنى

مفتوحة للحصول على أقصى تهوية في فصل الصيف، فإن هذا التوجيه سوف يسمح باختراق غير مرغوب فيه لأشعة الشمس في فترة الصباح وبعد الظهر.

فتحات التهوية الطبيعية في المباني الباردة (OPENINGS FOR NATURAL VENTILATION OF COLD BUILDINGS)

تعتبر الفتحات التي بطول مبنى مفتوح من الجهة الأمامية ذات تأثير غير جوهري على حركة الهواء الكلية. ويرجع السبب في ذلك إلى التأثير الكبير للجهة الأمامية المفتوحة من المبنى. وتساعد هذه الفتحة على تفريغ الهواء الداخلي الدافئ والمحمل بالرطوبة. ويعتبر ذلك ضرورياً للمساعدة في حفظ درجة الحرارة الداخلية أعلى قليلاً من درجة الحرارة الخارجية وإلى تقليل فرصة تكثيف الماء.

ويتضح بناءً على الخبرات السابقة أن عرض فتحات التهوية بالنسبة لمباني الإنتاج الحيواني التي يتم تهويتها طبيعياً يجب أن يكون حوالي ٢,٥ سم لكل مترين من عرض المبنى، أو أن تكون المساحة الخالصة من فتحة التهوية حوالي ١,٥٪ من مساحة أرضية المبنى. وتعتبر فتحات التهوية غير المغطاة مقبولة جداً بالنسبة لمخاطر الماشية. أما مباني الورش ومخازن الآلات فقد نحتاج إلى طرق تهوية خاصة لتجنب الأمطار. ولا ينصح بمد ميل السطح الشمالي فوق الجهة الجنوبية لتشكيل فتحة مراقبة؛ نظراً لأن أي فتحة قد تعمل كمدخل بدلاً من مخرج للهواء عندما تكون الرياح جنوبية.

ويجب أن تحتوي حتى المباني ذات الواجهات الأمامية المفتوحة على بعض الفتحات في الحوائط الخلفية. وتسمح تلك الفتحات بدخول بعض الهواء إلى المبنى من الجانب المواجه للرياح، وذلك لتعديل اتساق الضغط عند الواجهة المفتوحة. ويرجع السبب في ذلك إلى أن تلك الواجهة الأمامية المفتوحة هي المسببة لسريان الهواء إلى داخل المبنى. ويمكن توفير هذه الفتحات الخلفية بعدة طرق منها : في مكان مرتفع أسفل الحد الفاصل بين الحائط الرأسي والسطح المائل؛ في مكان منخفض عند ارتفاع أعلى قليلاً من الأرضية مع توجيه عاكس الهواء إلى أعلى؛ أو بعمل حيزات هوائية باستخدام ألواح خشبية. ويجب أن تكون المساحة الكلية

للفتححات الهوائية في الحائط المواجه للرياح على الأقل نصف مساحة فتحات التهوية .

ويجب أن تحتوي المباني الباردة المغلقة الجوانب وذات التهوية الطبيعية - مثل حظائر الحيوانات الحرة الطليقة أو مباني تخزين الآلات - على فتحات تهوية جانبية لخروج الهواء، وعلى فتحات أخرى لدخول الهواء مساوية لفتحات الخروج وموزعة بانتظام على الحوائط الجانبية . وقد تكون الفتحات الجانبية بالنسبة لحظائر الحيوانات الحرة الطليقة عبارة عن أبواب يمكن فتحها للتهوية الصيفية .

فتحات التهوية الطبيعية للمباني الدافئة

(Openings for Natural Ventilation of Warm Buildings)

يكتفى في بعض مباني الإنتاج الحيواني بعملية التهوية الداخلية عن طريق عمل فتحات لدخول وخروج الهواء على الحائط الجنوبي فقط . ويوصى بعمل فتحة طولية لخروج الهواء بالنسبة للمباني ذات الأسطح الجمالونية، وذلك لتولد ضغط سالب عبر فتحة الهواء بغض النظر عن اتجاه الرياح . وقد يضمن هذا التصميم سريان للهواء أكثر انتظاماً خلال أجزاء المبنى عن ما لو تم وضع فتحات الهواء على جانب واحد فقط من المبنى . ويرجع السبب في ذلك إلى أن أي حائط من المبنى معرض لأن يكون في بعض الأحيان في اتجاه الرياح، وفي البعض الآخر في الاتجاه المعاكس لاتجاه الرياح .

ويمكن حساب مساحة فتحات التهوية بالنسبة للمباني الدافئة ذات التهوية الطبيعية باستخدام المعادلة رقم (٢، ٥) . ونظراً لأن الأجواء الحارة قد تتطلب فتحات ذات مساحة من ٣/١ إلى ٢/١ من مساحة الحائط الجانبي، فإنه يُقترح أن يتم تصميم فتحة التهوية للحصول على أقل متطلبات تهوية بالنسبة لفصل الشتاء . ومعدل السريان المقترض (Q) في المعادلة رقم (٢، ٥) عبارة عن الحجم المطلوب للمحافظة تقريباً على درجة حرارة ١٥°م و ٧٥٪ رطوبة نسبية، وذلك كما تم الحساب باستخدام منحنيات الاتزان الحراري والرطوبي . ويُقترح سرعة تصميمية للرياح مقدارها ٤، ٣ (م/ث) .

ويجب أن تكون الفتحات الجانبية مساوية للفتحات الموجودة على الحافة بين سطح المبنى والحائط الجانبي، كما يجب أن تُقسَّم أيضاً تلك الفتحات بالتساوي على الحائطين الطويلين للمبنى. ويزداد معدل سريان الهواء في الأجواء الحارة بزيادة سرعة الرياح وانخفاض درجة الحرارة الداخلية. ولحسن الحظ لا يعتبر التغير في درجات الحرارة من ٢٠ إلى ١٠ م أو أقل في بعض الفترات بالنسبة للمباني التي تستخدم التهوية الطبيعية في الأجواء الباردة مشكلة كبرى، حيث تكون التغيرات الجذرية في سرعة سريان الهواء مقبولة. وهناك في بعض الأحوال العواصف الشتوية ذات درجات الحرارة المنخفضة بالإضافة إلى السرعات العالية للرياح والتي تؤدي إلى ضرورة خفض حجم فتحات التهوية.

وسوف ترتفع درجة الحرارة الداخلية إلى أعلى من ٢٠ م عند زيادة درجة الحرارة الخارجية أو انخفاض سرعة الرياح. ومن المرغوب تحت هذه الظروف زيادة حجم فتحات التهوية.

ونظراً لأن الأبواب الجانبية في الأجواء الحارة سوف تكون جزءاً من نظام التهوية، فإنه يمكن استخدام تلك الأبواب كفتحات جانبية لمعادلة الاحتياجات المطلوبة بالنسبة للأجواء الباردة. ولكن تكمن مشكلة هذه الأبواب في أنها غير محكمة الغلق لمنع التهوية الزائدة أثناء العواصف الشتوية القارسة، وخاصة إذا لم يكن هناك أيضاً تحكم في فتحات التهوية.

أنواع أبواب الحوائط الجانبية (Types of Sidewall Doors)

يكون الباب المحوري المركزي في حالة اتزان بحيث يمكن بسهولة فتحه بالأيدي أو باستخدام ونش. ولكن عادة ما تحتوي هذه الأنواع من الأبواب على فتحة بكامل العرض، حتى ولو كان الباب محكم الغلق. وقد يُسبب فتح الباب ولو قليلاً صعوبة في عملية التحكم في حجم فتحة المدخل وبالتالي معدل الهواء، مما قد يعرض الحيوانات لتيارات هوائية.

وتعتبر الستائر المصنوعة من البلاستيك خفيفة الوزن بحيث يسهل فتحها وغلقها بالأيدي. وتفتح هذه الستائر من أعلى إلى أسفل بحيث يدخل الهواء مرتفعاً، وبالتالي تقل فرصة تعرض الحيوانات للتيارات الهوائية. وتعتبر الستائر وميل غير جيدة للعزل الحراري، حيث تُفقد الحرارة من الجانبين في الأجواء الباردة.

وتكون الطريقة الأخرى لتوفير فتحات تهوية من أعلى إلى أسفل عن طريق استخدام الألواح المتزلقة. ويمكن تركيب مادة عازلة لتلك الألواح، ولكن من عيوبها ثقل الوزن، وقد تحتاج إلى أوزان مضادة لسهولة الضبط باستخدام وسيلة رافعة. وأحد مميزات هذه الطريقة أنها لا تعوق الحركة في الممرات داخل المبنى. وفي الغالب ما تكون الأبواب المعلقة من أعلى أو من أسفل محكمة الغلق، وبالتالي يمكن التحكم في حجم الفتحة بعناية. وتعتبر الأبواب المعلقة ثقيلة الوزن وبالتالي صعبة التحكم، بينما قد يعوق الباب المصمم للتأرجح داخل المبنى من الحركة في الممرات.

وتبدو عملية الاهتمام والتحكم في حركة الأبواب أو الستائر ذات أهمية أكثر من أنواع الأبواب نفسها^(٧). فمن الأرجح أن تكون الأبواب الجانبية محكمة الغلق عندما تنخفض درجة الحرارة إلى -١٠°م، بينما يجب أن تكون الأبواب مفتوحة كاملاً عندما تكون درجة الحرارة أعلى من ٢٢°م. وتعتمد عملية ضبط فتح وغلق الأبواب والستائر بانتظام على كل من درجة الحرارة وظروف الرياح، وخاصةً إذا كانت درجة الحرارة تقع ما بين -١٠°م و ٢٠°م.

ويمكن القيام بعملية التحكم في فتحات التهوية يدوياً إذا كان المبنى صغيراً، وفي حالة وجود أحد الأفراد معظم الوقت داخل المبنى لتغيير مساحة فتحات التهوية مع تغير الظروف الجوية. ولكن من الممكن أيضاً التحكم في حركة فتح وغلق فتحات التهوية آلياً باستخدام جهاز حس حراري متصل بالروافع. ويوضح الفصل التاسع كيفية اختيار نظم التهوية وطرق التحكم فيها " نظم تهوية المنشآت الحيوانية ".

أنواع الفتحات الجانبية العلوية (Types of Ridge Openings)

تأخذ هذه الأنواع من الفتحات أشكالاً عديدة، ويجب أن تصمم بحيث تنحرف الرياح للمحافظة على ضغط سالب عبر الفتحة. وهناك القليل من مراوح التهوية التي يمكن التحكم في حجم الاختناقات بها. وقد تم تطوير معظم هذه الأنواع عن طريق إضافة كل من صندوق مصنوع من الخشب الرقائقي وحبل وياق ذي بكرة لسهولة التحكم في فتحة التهوية.

وتعتبر فتحات التهوية غير المغطاة مقبولة في معظم الظروف. وفي الغالب ما يكون هناك ضغط سالب عند فتحات التهوية، ولذلك فإن الأمطار الغزيرة فقط قد تدخل إلى المبنى. ولكن تعتبر هذه الكمية من المياه قليلة بالمقارنة بكمية المياه التي أمكن تجنبها بحماية الحيوانات داخل مبنى. ويجب أن تستخدم الفتحات غير المغطاة فقط مع الأبواب الجانبية التي يمكن غلقها في حالات العواصف الشتوية القارصة. وتعمل فتحات التهوية في حالة إحكام غلق الأبواب الجانبية كمدخل ومخرج للهواء معاً. وقد يحدث في بعض الأحيان تسرب للثلوج، ولكن يمكن المحافظة على درجة الحرارة أعلى قليلاً من التجمد عن طريق خفض معدل التهوية المستخدم في مبنى مملىء بالحيوانات.

ولا تعتبر التهوية الطبيعية بالمعنى الدقيق علماً، كما أنه يمكن حساب أحجام فتحات التهوية سواء للدخول أو للخروج بالطرق السابق شرحها. ولقد أوضحت الملاحظات على المباني المشيدة أنه يمكن أن تؤدي أحجام فتحات التهوية الغرض عند تعرضها لمدى واسع من الظروف الجوية، وأيضاً عندما يكون الحيوان داخل المبنى قادراً على مقاومة درجات الحرارة حتى ١٠ م°. ولكن يجب على المربي أن يكون يقظاً بالنسبة للعواصف الشتوية القارصة، وقادراً على عمل بعض التعديلات المؤقتة على نظام التهوية، وخاصة عن طريق سد التشققات أو غلق فتحات خروج الهواء. وقد لا يتجاوز الجهد المبذول مثلاً الجهد لتعويض انقطاع التيار الكهربائي عن نظام تهوية يستخدم مراوح.

تهوية العلية

(ATTIC VENTILATION)

هناك بعض المباني الزراعية التي تستخدم الحيز الهوائي المحصور بين السطح الجمالوني وسقف المبنى كمصدر للتهوية الميكانيكية بالنسبة للحيز أسفله. ويعتبر سقف المبنى في هذه الحالة أرضية لهذه العلية، ويتم معادلة أو تلطيف درجة حرارة هذا الهواء عن طريق التلامس مع السطح السفلي لسقف المبنى، أو عن طريق إمرار الهواء من خلال مجمع شمسي. ويعتبر حجم العلية تحت أي الظروف ثابتاً، ومن الممكن الحصول على سرعات للهواء أقل من ٥ م/ث باستخدام التهوية الميكانيكية.

ويمكن استخدام التهوية الطبيعية في المبنى في حالة عدم استخدام هواء العلية، وذلك لمنع تراكم الرطوبة في الشتاء وإزالة الحرارة الزائدة في الصيف.

معدل التهوية المطلوب (Amount of Ventilation Required)

تم تجميع معظم البيانات المتوافرة عن تهوية العلية بغرض التخلص من الرطوبة من ذلك الحيز. وتقترح (FHA) أن يكون أقل معدل تهوية مطلوباً للتخلص من الرطوبة من عليّات المنازل 16×10^{-4} (م³/ث) لكل م² من مساحة أرضية العلية. ويجب مراعاة أن حمل الرطوبة داخل مباني الإنتاج الحيواني أكبر بكثير منه بالنسبة للمنازل السكنية. ولازال يقدم (ASHREA) نفس القيمة السابقة بالنسبة للأسطح الجمالونية، ولكن يوضح أيضاً أن هذه القيمة سوف تتناقص بإضافة مواد عازلة جديدة لأسقف المباني^(١). وتتطلب عملية إضافة مادة عازلة زيادة معدل التهوية، والذي من شأنه ضرورة اختيار مستوى مناسب من المادة العازلة.

ويقترح^(٢) (Wolfert and Hinrichs) قيمة لمعدل التهوية في الشتاء للتخلص من الرطوبة بين 2×10^{-4} و 5×10^{-4} م³/ث لكل م² من مساحة أرضية العلية. وتستخدم القيم السابقة بالنسبة للأسقف التي تحتوي على مواد عازلة ذات جودة عالية. وتتراوح القيم المقترحة للتهوية في فصل الصيف ما بين 7×10^{-4} و 10×10^{-4} م³/ث لكل م² من مساحة أرضية العلية. وتعتبر تلك المعدلات غير عملية بالنسبة لفصلي الشتاء والصيف، نظراً لاعتماد التهوية الطبيعية على فتحات التهوية، والتي في الغالب ما تكون ثابتة. وفي الغالب ما يُقترح استخدام معدل التهوية المستخدم في الصيف بالنسبة للأغراض التصميمية.

الحصول على معدل التهوية المرغوب

(Achieving the Desired Ventilation)

تحدث التهوية الطبيعية كما تمت مناقشتها نتيجة للقوى المتولدة من كل من الرياح وفرق درجات الحرارة. وتُشكل فتحة التهوية الجانبية ذات الحافة الحادة في الغالب مساحة معرضة لضغط سالب بالنسبة لقوى الرياح، بينما تكون المساحات الداخلية على جانبي فتحة التهوية معرضة لضغط رياحي موجب على الأقل في

نصف المساحة . وتتيح التهوية بهذه الطريقة الاستفادة من أقصى ارتفاع للتهوية الناتجة عن قوى فرق درجات الحرارة .

ويوضح الجدول رقم (٤, ٥) سعة الفتحات المطلوبة بالنسبة لعدة أنظمة تهوية مختلفة . ويرجع السبب في الانقسامات الواضحة بالنسبة للمساحات الموصى باستخدامها بالنسبة للمداخل التهوية في فصلي الصيف والشتاء إلى الفرق في معامل قيم الكفاءة (E) بين كل من التشغيل الصيفي والشتوي، المعادلة رقم (٢, ٥) . ويمكن حساب مساحة التهوية الكلية المطلوبة لأي مبنى عن طريق المعلومات المدونة في الجدول رقم (٤, ٥) مضروباً في مساحة العلبة بالأمتار المربعة . وتُقسم المساحة المحسوبة بالتساوي بين الموضعين عند وقوع بيانات نوعين من المداخل على نفس الخط مثل فتحات التهوية " ذات الأطراف الحادة المستمرة والأطراف المنبسطة المستمرة " .

جدول (٤, ٥) مساحة فتحة التهوية المطلوبة بالتر المربع لكل ١٠٠ م^٢ من مساحة أرضية العلبة؛ بفرض أن سرعة الرياح ٣,٣٥ م/ث (٧,٥ ميل/ساعة) لكل من فصلي الشتاء والصيف .

المعدل الشتوي		المعدل الصيفي		نظام الفتحة
٤-١٠×٥	٤-١٠×٢	٤-١٠×١٠ (م ^٢ /ث)	٤-١٠×٧	
٧,٧	٣,١	٣,١	٢,٣	فتحات سطحية
٤,٥	١,٨	٢,٧	٢,٠	فتحات منبسطة
٣,٥	١,٤	٢,٣	١,٧	فتحات جمالونية
٤,٢	١,٧	٢,٩	٢,٢	فتحات سطحية ومنبسطة
٤,٢	١,٧	٢,٥	١,٩	فتحات جمالونية ومنبسطة
٠,٧	٠,٣	١,٣	١,٠	فتحات مستمرة

المراجع

- 1 Hinrichs, H. S. and C. K. Wolfert. 1977. Wind and the ventilation of agricultural buildings. H. C. Products Co., Princeville, IL 61559.
- 2 ASAE. 1981-82. Agricultural Engineers Yearbook. 23rd Edition, American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI 49085.
- 3 ESSA. 1968. Climatic atlas of the United States. U.S. Department of Commerce, Supt. of Documents, U. S. Government Printing Office, Washington, D. C. 20402.
- 4 ASHRAE. 1981. Handbook of fundamentals, Ch. 21, Moisture in building construction, and Ch. 22, Infiltration and ventilation. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA 30329.
- 5 Barre, H. J. and L. L. Sammett. 1950. Farm structures, John Wiley and Sons, Inc., New York, N. Y.
- 6 MWPS. 1975. Beef housing and equipment handbook. Midwest Plan Service, Iowa State University, Ames, Iowa 50011.
- 7 Jede, D. G. 1977. Natural ventilation of buildings for swine finishing and gestation. ASAE Paper No. 77-4525, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
- 8 Wolfert, C. K. and H. S. Hinrichs. 1974. Fundamentals of residential attic ventilation. H. C. Products Co., Princeville, IL 61559.

التبريد التبخيري*

(EVAPORATIVE COOLING)

- نظرية التبريد التبخيري • تطبيق الأساس • تصميم المبرد • نوع مادة الوسادة
- تركيب الوسادة • سماكة وكثافة الوسادة • سرعة الهواء • سريان الماء في
- الوسائد • المعدلات المرجعة وسعة الحوض المائي • التبريد التبخيري للدجاج
- اللاحم والبيوت المحمية وحظائر الماشية الحلابة ولإنتاج أبقار اللحم

تعتبر عملية التبريد التبخيري من الوسائل الاقتصادية الشائعة الاستخدام في تحسين الوسط الهوائي المنزلي في الأجواء الجافة، بالإضافة إلى العديد من التطبيقات العملية في الزراعة. ولقد أصبحت هذه العملية من أفضل طرق التبريد في كل من مباني الدواجن والبيوت المحمية، كما أصبحت تُستخدم في معظم مباني الإنتاج الحيواني في الجنوب الغربي من الولايات المتحدة.

وتُصمم البيوت المحمية ومباني الإنتاج الحيواني في المناطق الشمالية من الولايات المتحدة لمقاومة الظروف الجوية الباردة، بينما لا يُترك مجال كبير أمام المربي للاختيار عند تعرض هذه المباني لموجات حر في فترة الصيف. وقد تؤدي الموجات شديدة الحرارة إلى نفوق العديد من الحيوانات إذا لم تتوافر طرق لتخفيف شدة الحرارة. ولكن تكون معظم الفواقد في شكلها الدقيق ممثلة في قلة الإنتاجية أو انخفاض معدل الولادات. ويمكن تقليل الفواقد الناتجة من الإجهاد الحراري باستخدام تصاميم مناسبة من نظم التبريد التبخيري.

* فرانك ويرسما : جامعة أريزونا - تاكسون

تيد شوروت : مركز أوهايو للأبحاث والتطوير الزراعي - وستر

نظرية التبريد التبخيري

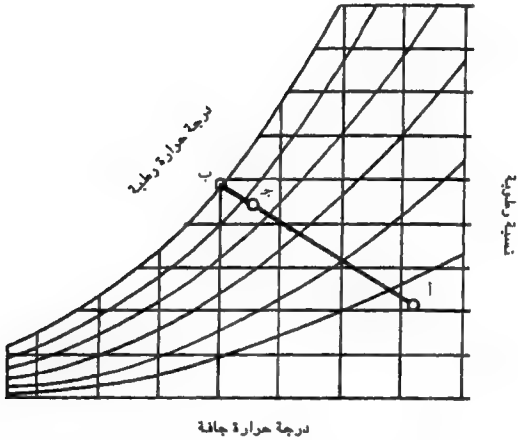
(THEORY OF EVAPORATIVE COOLING)

يحدث انتقال كل من الكتلة والحرارة عند تلامس هواء غير مشبع مع رطوبة حرة، والانتان معزولان حرارياً عن أي مصدر حراري خارجي. ونظراً لأن ضغط البخار لسطح الماء الحر أعلى من ضغط الهواء غير المشبع، فسوف يحدث انتقال للماء نتيجةً لهذا الفرق في الضغط. ويتضمن الانتقال حرارة تبخير تعمل على تغيير الحالة من سائل إلى بخار. وتأتي الحرارة المطلوبة لتغيير تلك الحالة من المحتوى الحراري للمحسوس لكل من الهواء والماء، مما ينتج عنه انخفاض درجة حرارة كليهما. ويحدث انتقال حرارة بانخفاض درجة الحرارة في منطقة التداخل اللحظية والتي ينشأ عنها فرق في درجة الحرارة خلال مخلوط الهواء - بخار، وذلك لوصول النظام ككل إلى حالة اتزان ثرمو-ديناميكي.

ولن يحدث أي تغيير للمحتوى الحراري الكلي؛ نظراً لعدم وجود أي إضافة حرارية للعملية نفسها. وما يحدث هو تحول حراري من الصورة الكامنة إلى الصورة المحسوسة بدون أي اكتساب أو فقد للحرارة (تبادل أدياباتي). ولكن يحدث تغير في الوسط الهوائي نتيجة للتغير في حالة الماء ودرجة حرارة مخلوط الهواء - بخار. وعامةً يوجد تحسن في الظروف عند حدوث هذا التبادل.

ويكون أفضل وصف لهذه العملية عن طريق الخريطة السيكرومترية الموضحة في الشكل رقم (١٦). فإذا كانت النقطة (أ) تمثل ظروف الهواء الخارجي الداخل إلى مبرد، فإن ظروف المخلوط تتبع خط درجة الحرارة الرطبة حتى نقطة (ب) التي أصبحت مشبعةً تماماً. ولكن قد يخرج الهواء في حالة عدم الوصول إلى التشبع الكامل عند الحالة (ج). وتؤدي عملية التبريد التبخيري إلى انخفاض درجة الحرارة الجافة وزيادة الرطوبة النسبية عند ثبات درجة الحرارة الرطبة.

ويعتبر المصطلح "كفاءة المبرد التبخيري" شائع الاستخدام لتحديد كفاءة التشبع. ويعبر عنه بالنسبة بين درجة التشبع إلى أقصى درجة من التشبع يمكن الوصول إليها. والكفاءة عبارة عن حاصل قسمة المسافة (أج) على المسافة (أب). ويُفترض ظروف الحالة المستقرة بالنسبة للقيمة الناتجة، مع عدم تغير درجة حرارة



شكل (٦، ١). إضافة رطوبة للهواء مع ثبات المحتوى الحراري

الماء المتداول .

وتساعد كفاءة التشيع في وصف كفاءة المبرد، ولكنها لا تحدد سعة التبريد. ويمكن حساب سعة التبريد بمعلومية كل من الانخفاض في درجة الحرارة أو الكفاءة وكمية الهواء المستخدم.

ونظراً لأن العملية أدياباتيّة- أي لا يوجد أي فقد أو اكتساب للحرارة - فإن تقدير مبرد تبخيري بوحدات حرارية مثل كيلو جول أو كالوري يعتبر تقديراً مضللاً.

فلا يوجد نقل حراري فعلي كما يحدث في أجهزة التكييف . وتستخدم في بعض الأحيان الوحدة المعروفة بكفاءة المبرد التبخيري (Evaporative Cooler Performance, ECP) لتقدير كفاءة المبرّدات^(١) . وقيمة (ECP) عبارة عن عدد الوحدات الحرارية الداخلة في التبادل ، والتي يمكن حسابها كحرارة محسوسة أو كامنة . ولكن لا تستخدم الوحدة (ECP) في قياس أداء مطلق تحت ظروف أساسية تسمح بالمقارنة . ونظراً لاعتماد كمية التبادل الكلية على الانخفاض الرطب ، فتكون وحدة تحسين القياسات^(١) (Unit ECP) حيث :

(١ ، ٦)

$$\text{Unit ECP} = \text{ECP/wet bulb depression}$$

وتصف هذه الوحدة تأثير التبريد المتولد في الساعة لكل درجة من التبريد الكامن ، بالإضافة إلى تحديد المتغيرات المرتبطة بالظروف المحلية .

تطبيق الأساس

(APPLYING THE PRINCIPLE)

يجد عند استخدام أساس التبريد التبخيري في مبنى أن العملية تتم ببطء طالما وُجد هواء يتلامس مع سطح ماء حر . ويمكن الإسراع من معدل انتقال الحرارة والكتلة عن طريق زيادة دفع حركة الهواء المار على مساحة أكبر لسطح ماء التبخير .

وتم باستخدام المراوح الحصول طبيعياً على هذه الحركة . ويوجد العديد من الإمكانيات بالنسبة لتوفير مساحة أكبر لسطح الماء ، ولكن من الناحية العملية لا يوجد إلا طريقتان فقط يمكن استخدام إحدهما . فإما أن يتم حقن الماء مباشرة في المجرى الهوائي في صورة رذاذ دقيق ، أو أن يتم دفع الهواء من خلال مواد مسامية مبتلة بالماء^(٢،٣) . ويعتبر استخدام نظام الوسائد المسامية المبتلة النظام الشائع الاستخدام .

وتوجد أيضاً عملية التريزيد بالحقن والتي تسمى غسيل الهواء ، حيث يتم في الغالب التحكم في الرطوبة كهدف أساسي بدلاً من التبريد . ويتطلب هذا النظام تصميمًا جيدًا وأجهزة مكلفة نسبياً ، وذلك للحصول على التحكم المرغوب مع أقل كمية من قطرات الماء غير المتبخرة . وقد تكون تكاليف عملية التشغيل مرتفعة ؛ نظراً

لما يتطلبه هذا النظام من أجهزة ضغط وتنقية للماء، وذلك للمحافظة على اتساق في تشغيل البشابير . وتستخدم العديد من النظم ضغوطاً مرتفعة قد تصل حتى ٢٥٠٠ كيلو باسكال .

وتكون عملية إمرار هواء خلال مادة مسامية أو ومادة مبللة بالماء الطريقة الأكثر شيوعاً للحصول على تلامس الهواء بالرطوبة . ويمكن أن تتم عملية إبلال المادة المسامية بالماء عن طريق تنقيط الماء من فوق الحافة العلوية للمادة المسامية المركبة رأسياً، أو بترذيد الماء على السطح المقابل للهواء، أو عن طريق دوران المادة المسامية التي على شكل أسطوانة أفقية وجزؤها السفلي مغمور في الماء . ويطلق على هذه الطرق على الترتيب بالأنواع ذات المنقطات أو الترزيد أو الدورانية .

ويتم دفع الماء في نظام الترزيد في اتجاه مع - بدلا من عكس - سريان الهواء ، بحيث يتم التركيب في الموضع بين المادة المسامية والمروحة . ويعتبر ذلك ضرورياً لمنع تجريف قطرات الماء بعيداً عن مادة المبرد، خاصة إذا تم تركيب المبرد في الأجواء الخارجية . وتعتبر القدرة المطلوبة لعملية إبلال المادة المسامية في هذا النظام أكبر منها في المبرد ذي المنقطات .

ويتكون المبرد الدوراني من أسطوانة أفقية كبيرة مغطاة بطبقة من المادة المسامية على السطح . ويتم إحكام غلق أحد أطراف الأسطوانة ، بينما يحتوي الطرف الآخر على المروحة أو فتحة خروج الهواء . ويُغمر ثلث الأسطوانة السفلي في حوض مائي . وتتم عملية الإبلال للمادة المسامية بكفاءة عند دوران الأسطوانة . ولا توجد الحاجة إلى قدرة تستخدم في ضخ الماء ، بينما تكون القدرة مطلوبة فقط لدوران المادة المسامية . وبالرغم من أن استخدام المادة المسامية الدوارة يعتبر مكلفاً في البداية ، إلا أن من أهم مميزات هذا النوع من التبريد عملية الغسيل المستمر للمادة المسامية ووجود ضغط موجب بسيط لتصرف الماء ، مما يؤدي إلى انخفاض تراكم تركيزات المواد المعدنية .

تصميم المبرد

(COOLER DESIGN)

تعتمد كفاءة المبرد اعتماداً كبيراً على مدى أداء المادة المسامية . ولكي نصل بالهواء قريباً من درجة التشبع ، فإنه يجب تعريض أقصى مساحة مبللة ممكنة من المادة المسامية للهواء المار وبعمق يسمح بالحصول على زمن كاف من تلامس الماء والهواء . ويجب مراعاة استخدام المواد المسامية التي تسبب أقل مقاومة لسريان الهواء ، وأن تكون أيضاً قادرة على مقاومة التفسخ والاضمحلال والمحافظة على تماسكها وشكلها الأصلي . وقد يتطلب الأمر في بعض التطبيقات الخاصة مثل الأبحاث أو إنتاج نبات معين وضع فلتر لتنقية الهواء من الأتربة وجيوب اللقاح والحشرات . ولكن يندر وجود عملية تنقية للهواء في التطبيقات الزراعية .

وبصفة عامة ، يعتبر الوصول إلى مستويات معقولة ومقبولة من متطلبات تصميم الوسادة بالنسبة للأداء الزراعي بسيطاً نسبياً . ولكن يعتبر من الصعوبة تحديد متطلبات مستوى أداء مرتفع بالنسبة لمدى واسع من ظروف التشغيل .

نوع مادة الوسادة

(PAD MATERIAL)

تحاول المصانع استخدام العديد من المواد مثل الخشب والمعادن والزجاج ، ويتم حديثاً استخدام البلاستيك والأسمنت . وفي الغالب تتيح المواد المسامية أفضل كفاءة تبريد بالنسبة للمبردات التي تستخدم طريقة التنقيط حيث سريان الماء محدود . ومع أن المواد الجامدة تقاوم التفسخ وتعيش مدة أطول من الخشب ، إلا أن تلك المواد لا تتوافر فيها خاصية الماصية مثل " الفتائل - المتناظرة " التي تضمن توزيعاً جيداً للماء . فيجري الماء بالنسبة للمواد الأقل مسامية إلى أسفل المادة المسامية في قطرات كبيرة ، مخلفاً مساحة سطحية مبللة أقل .

وتعتبر نجارة خشب حور الرجراج من أفضل المواد استخداماً كمادة مسامية في المبردات . ومع أن هذا النوع من أكثر المواد الخشبية مقاومة للتفسخ ، إلا أن فساد

وتعفن المواد الخشبية تعتبر المشكلة الرئيسية التي تؤدي إلى فقدان الكثير من كفاءة تلك المواد، وخاصةً بعد السنة الأولى من الاستخدام. ويمكن المحافظة على كفاءة المبرد لفترة أطول عن طريق غسيل المادة المسامية بماء نقي في منتصف الموسم على أن يتم استبداله مرة كل موسم.

وتُصنع الوسادات الصلبة من مادة كلوريد الفينيل المتعدد (PVC) مع إضافة مواد حافظة ضد التعفن، أو من نفل قصب السكر المغطى بالأسمنت. وتأخذ مادة (PVC) والمواد المسامية الورقية شكل تصاميم "الأخاديد - المتقاطعة" مع سريان الهواء في اتجاه عكسي أو متقاطع. وغالبًا ما تأخذ تلك الوسادات سماكات تتراوح من ١٠ إلى ٣٠ سم. وتعتبر المواد المسامية أكثر تكلفةً بالنسبة لوحدة المساحات من مواد مثل نُجارة الخشب، ولكن يمكن الحصول مع تلك المواد على كفاءة تبريد مرتفعة عند سرعات عالية للهواء، مما يعني إمكانية استخدام مساحة صغيرة لكل سريان هوائي معطى. ونجد بالإضافة إلى ذلك أن الغرض من هذا النوع من الوسادات العمل حتى أقصى عمر افتراضي بعكس نُجارة حور الرجراج التي تُستبدل سنويًا.

وتستخدم الوسادات المصنعة من نفل قصب السكر المغطى بالأسمنت سماكة في حدود ٥، ٢ سم، وتعمل لمدة عشر سنوات على الأقل. وتعتبر هذه الوسادات مكلفةً في البداية وثقيلة الوزن (١٨ كجم/م^٢). ويوصى باستخدام سرعة هواء منخفضة نسبيًا (٧٥، م/ث) مع هذا النوع من الوسادات، بالإضافة إلى زيادة التكلفة مع كل زيادة مطلوبة في المساحة بالنسبة لحجم سريان معطى.

وتشير كل التقارير والأبحاث المنشورة إلى تساوي كفاءة التبريد مع كل هذه الأنواع من الوسادات. ولكن تعتمد معظم هذه النتائج على استخدام وسادات نظيفة مع قلة المعلومات المتاحة بالنسبة لأداء الفصول اللاحقة. فغالبًا ما يحدث تراكم من الأتربة والأملاح على الوسادات من النوع الدائم الاستخدام في التطبيقات الزراعية.

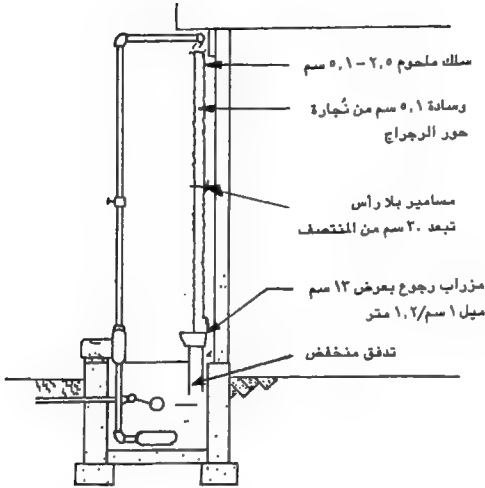
تركيب الوسادة

(PAD ORIENTATION)

يتم تركيب الوسادة بالنسبة للتطبيقات الزراعية بطول أحد جوانب أو نهاية المبنى على أن تتركب المراوح الطاردة للهواء العادم على الجانب المقابل. ويكون ارتفاع الوسادة حوالي ٥ , إلى ٢, ٥ م عند التركيب رأسياً، وذلك بفرض الحصول على توزيع منتظم لسريان الماء.

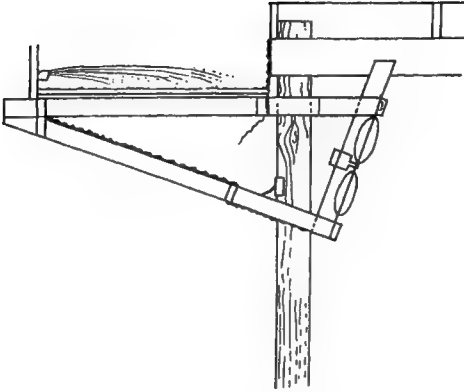
أما بالنسبة للمناطق ذات تراكيز الأتربة المرتفعة، ففي الغالب ما يؤدي استخدام نظام تنقيط مع وسادة وأسية إلى انسداد كامل للوسادة بجزيئات الأتربة، مما يؤدي إلى إعاقه سريان الهواء، الشكل رقم (٢، ٦). ويعني ذلك انخفاض سعة التبريد الكلية انخفاضاً ملحوظاً. ويسبب استخدام هذا النظام مشكلة خطيرة بالنسبة للتطبيقات الزراعية، وخاصة تلك التي تتضمن تربية ماشية. ويكون النظام البديل عن طريق تركيب الوسادة في اتجاه أفقي، حيث يحد هذا النظام بكفاءة من مشكلة الأتربة، الشكل رقم (٣، ٦). ويتم توزيع النجارة في هذا النظام على شبكة سلكية مشبته أفقياً. وبدلاً من تنقيط الماء من الحافة العلوية للوسادة، فإنه يتم ترذيد الماء على كل مساحة الوسادة، حيث الحصول على الإبلال الكامل. وتؤدي عملية الترذيد أيضاً إلى عملية غسيل مستمرة للوسادة. ويتم دفع الهواء في هذه الحالة إلى أعلى أو إلى أسفل من خلال الوسادة، ثم بعد ذلك أفقياً أو بزاوية محددة إلى المنطقة المراد تبريدها. ولقد برهن هذا النظام، ليس فقط بالمحافظة على وسادة نظيفة، ولكن برهن أيضاً على الحصول على كفاءة تبريد مرتفعة في الصيف، حتى ولو كان الوسط ذا تركيز أتربة مرتفع. فيتم تجميع جسيمات الأتربة على سطح الوسادة، ثم تتم عملية الغسيل باستخدام دوران الماء إلى الخزان الذي يجب أن يكون ذا حجم كبير نسبياً ليسع تراكم الرواسب في القاع. ويجب أن تتم عملية إزالة الرواسب دورياً، ولكن يكفي بعملية التنظيف مرة كل فصل عند استخدام خزان ذي سعة كبيرة نسبياً.

وفي الغالب تتضمن أشكال الوسادات الأفقية لتبريد الوسط داخل المباني تركيب عدة مستويات من الوسادات. ويعتبر استخدام ثلاثة إلى خمسة مستويات



شكل (٦,٢). نظام وسادة رأسية يُستخدم مع العديد من بيوت الدواجن والبيوت المحمية.

أفقية من الوسادات كافية للحصول على مساحة الوسادة المطلوبة. ويمكن أيضاً تشييد هياكل الوسادات بدرجة ميل بسيطة لسهولة الحركة بدون الإقلال من مميزات الوضع الأفقي.



شكل (٦,٣). نظام وسادة أفقية يستخدم مع حظائر المشاية

سماعة وكثافة الوسادة

(PAD THICKNESS AND DENSITY)

تزداد المقاومة لسريان الهواء مباشرةً بزيادة سماعة الوسادة، بينما يزداد وقت تلامس الهواء المار عبر الوسادة. ولكن يؤدي مرور الهواء من خلال سماعة إضافية للوسادة إلى تناقص فرق ضغط بخار الماء. ويتجنى عن ذلك انخفاض في معدل البخر بالنسبة لطبقة محددة باستمرار مرور الهواء خلال الوسادة. وتعتبر العلاقة الأكيدة بينهما علاقة غير معلومة جيداً.

وتؤدي زيادة كثافة الوسادة إلى تحسن المسامية الكلية، مما يؤدي إلى توزيع أكثر انتظاماً للماء. وتتطلب زيادة الكثافة أيضاً معدلات مرتفعة من سريان الماء، كما تعمل على زيادة المقاومة لسريان الهواء. وتكون الوسادة الكثيفة بالنسبة للتركيب في اتجاه رأسي إلى حد ما أكثر ارتكازاً - بفردتها عن الوسادات اللينة. وعموماً تحتاج الوسادات مهما كانت كثافتها إلى بعض المركّزات، وذلك لمنع الارتخاء. ويؤدي أي ارتخاء في أي جزء من أجزاء الوسادة إلى حدوث فتحات في اتجاه سريان الهواء لابد من تداركه؛ نظراً لتأثيره الواضح على كفاءة التبريد.

وقد لخص (Watt)⁽⁶⁾ متطلبات السماكة والكثافة بالنسبة للوسادات الرأسية بأن كثافة الوسادة المثلى ٣٢ كجم من النجارة لكل متر مكعب، مع زيادة الكثافة على السطح لتحسين التوزيع الأفقي عند هذا المستوى. ويجب أن تكون محسّرات النجارة متراصة أفقياً. ويمكن تحديد السماكة عند معرفة كثافة الوسادة المستخدمة وذلك للحصول على كفاءة التشييع المرغوبة، أو أقصى تبريد بالنسبة لوحدة الطاقة المستهلكة.

ويؤثر استخدام سماكة وكثافة غير -محددة بالنسبة للتركيب الأفقي على الاستقرار الطبيعي لمادة الوسادة على حوامل الارتكاز. ولقد أوصى (Wiersma and Benham)⁽⁷⁾ باستخدام حوالي ٤ كجم من النجارة على أن تُوزع بانتظام فوق كل متر مربع من مساحة الوسادة.

سرعة الهواء

(AIR VELOCITY)

تتغير سرعة الهواء خلال الوسادات عند نقاط مختلفة من الوسادة، كما تعتبر صعبة القياس. وتعتبر سرعة دخول أو خروج الهواء من الوسادة، والتي يُطلق عليها بسرعة وجه الوسادة أسهل كثيراً من حيث القياس، كما أنها شائعة الاستخدام لتحديد السرعة عند الوسادة. وتعتبر تلك السرعة متغيراً تصميمياً أساسياً يُستخدم في حساب المساحة السطحية للوسادة. ويبين الجدول رقم (١، ٦) بعض قيم

جدول (١، ٦). سرعات هواء يوصى باستخدامها خلال مواد وسادات متغيرة

النوع	سرعة الهواء خلال الوسادة م/ث	قدم/ث
ألياف حور رجراج معلقة رأسياً سماعة ٥٠-١٠٠ م	١,٧٥	٢,٥
ألياف حور رجراج معلقة أفقياً سماعة ٥٠-١٠٠ م	١,٠	٣,٣
سيلولوز معرج سماعة ١٠٠ م	١,٢٥	٤,٢
سيلولوز معرج سماعة ١٥٠ م	١,٧٥	٥,٨

سرعات الهواء الموصى باستخدامها بالنسبة للمواد النموذجية والمستخدم في عمل الوسادات^(٨).

وتؤثر سرعة الهواء عند وجه الوسادة على نوع سريان الهواء وزمن التلامس مع مصدر الرطوبة. فيكون السريان رقائقياً عند السرعات المنخفضة، كما يكون لدى الهواء المار خلال الطبقة السطحية من ألياف الوسادة المشبعة بالماء الفرصة لحمل بخار الماء. ويصبح السريان عند ازدياد السرعة مضطرباً ومكسراً للشرائح الطباقية، مما يؤدي إلى زيادة فرصة حمل البخار. ويزداد معدل حمل البخار بسرعة مع زيادة السرعة، خاصة عندما يصبح سريان الهواء مضطرباً. ولقد وصف^(٩) (Petersen) معدل البخار عند سرعات منخفضة مضطربة كدالة في السرعة مرفوعة إلى الأس ثلثين. ويتبع عن مضاعفة سرعة الهواء زيادة في كمية بخار الماء الكلية ٦٠٪.

ولقد أوصى^(١٠) (Thornburg) باستخدام ١,٢٥ (م/ث) كسرعة وجه عملية وذات كفاءة بالنسبة للمبردات المنزلية التي تستخدم وسائد من حور الرجراج. ولقد وجد^(٧) (Wiersma and Benham) أن أقصى كفاءة تبريد تكون عند سرعة ١,٢٥ (م/ث) بالنسبة للوسائد الرأمية وتقريباً ١,٥ (م/ث) بالنسبة للوسائد الأفقية. ولكن نظراً لزيادة الانخفاض في الضغوط عند السرعات المرتفعة، فإنه يوصى باستخدام سرعة عند وجه الوسادة ١,٢٥ (م/ث). وتؤدي سرعات أكبر من ١,٥

(م/ث) إلى سحب قطرات ماء حرة دون تبخير إلى المجرى الهوائي .

وقد أوضحت مطبوعات المصانع أن الوسائد ذات الأخاديد الورقية لها كفاءات أعلى من ٨٠٪ بالنسبة لسرعات عند وجه الوسادة حتى ٨ (م/ث) وعمق وسادة ١٥ سم . وقد تصل الكفاءة إلى أعلى من ٩٠٪ عند سرعة وجه ٨ (م/ث) وعمق وسادة ٣٠ سم . وقد سجلت المطبوعات انخفاضاً في الضغط ٥٠٥ ، و ٥٢ ، كيلو باسكال على الترتيب .

ويوصى مصنع الوسائد المصنوعة من نفل قصب السكر والمغطاة بطبقة من الأسمنت باستخدام سرعة عند وجه الوسادة ٧٥ (م/ث) . وقد سجل الانخفاض في الضغط عبر وسادة ذات سماكة ٥ ، ٢ سم بأقل من ١٢٥ ، كيلو باسكال .

سريان الماء في الوسائد

(WATER FLOW IN PADS)

تبقى كفاءة التشبع نسبياً ثابتة بالنسبة لأي مبرد ذي سعة محددة مع تغير خصائص الهواء المراد تبريده . ويوجد استثناء واحد يحدث عندما يكون الهواء جافاً شديد الحرارة ، بحيث تُزال الرطوبة بمعدل أسرع من دوران الماء لإبلال الألياف . وبناءً على ذلك ، فإنه يجب أخذ الظروف القياسية في الاعتبار عند اختيار معدل دوران الماء . ويبين الجدول رقم (٢ و ٦) بعض القيم الخاصة بمعدلات السريان والموصى باستخدامها بالنسبة لأنواع الوسائد المختلفة^(٨) . وعامةً يمكن استخدام هذه القيم في كل من الأجواء الجافة والرطبة حيث الظروف القصوى مماثلة في كلتا الحالتين .

ويمكن الحصول على معدل السريان الأمثل تحت أي ظروف ، ولكن تعتبر معدلات السريان الزائدة أقل ضرراً من استخدام معدل سريان ماء غير كاف . وقد تنخفض كفاءة التبريد لحظياً في حالة عدم تشبع الألياف بالماء ؛ نظراً لقلة الرطوبة المتاحة بالنسبة للهواء المار . وترسب أيضاً المعادن الموجودة في الماء على الألياف بدلاً من انجرافها مع الماء في حالة تبخر كل المياه التي تصل إلى الألياف ، الأمر الذي يؤدي إلى خفض الكفاءة .

جدول (٦,٢). معدل سريان الماء وسعة الخزان الموصى باستخدامهما بالنسبة لوسائل تبريد معلقة.

نوع الوسادة والسماكة	أقل معدل سريان للماء لكل متر طولي من الوسادة (لتر/ دقيقة.م)	أقل سعة للحوض المائي لوحدة المساحات من الوسادة (لتر/م ^٢)
ألياف حور رجراج معلقة رأسياً سماكة ٥٠-١٠٠ م	٤	٢٠
ألياف حور رجراج معلقة أفقياً سماكة ٥٠-١٠٠ م	٥	٢٠
سيلولوز معرج سماكة ١٠٠ م	٦	٣٠
سيلولوز معرج سماكة ١٥٠ م	١٠	٤٠

ويؤدي استخدام ماء زائد عن الحد إلى الإقلال من المساحة السطحية، حيث يتحول سطح الألياف الخشن والمبلل إلى طبقة ملساء مغطاة بالماء. ويؤدي قرب ألياف الوسادة من بعضها إلى عبور الماء بينها عازلة السطح عن التلامس مع الهواء. ويوجد عند استخدام معدل سريان مرتفع للماء ميزة الغسيل المستمر للوسادة وخاصة في الوضع الأفقي، مما يقلل الانسداد بالأتربة وتراكم الأملاح.

ولقد أجرى (Watt)⁽⁶⁾ العديد من الاختبارات عن معدلات سريان الماء على وسادات حور رجراج ذات سماكات مختلفة. وقد وجد عند استخدام وسادات ذات سماكة ٥ سم وتحت ظروف طبيعية أن أفضل كفاءة تبريد كانت عند استخدام نسبة من سريان هواء - ماء ٤٠ كجم هواء لكل واحد كجم ماء. ولا تعكس هذه العلاقة التغيرات في سعة الماء الممتص في الهواء. ويكون المعيار الأكثر شمولاً هو ربط معدل ضخ الماء مع معدل البخر، مما يسمح بالحساب لكل منطقة على حدة. وقد وجد في اختبارات (Watt) عند نسب مثلى من هواء - ماء، أن متوسط الماء المضخ ٧,٥ لتر لكل لتر تم تبخيره. ونجد بناءً على ذلك، أنه يمكن

حساب معدل البخار بالنسبة لمبرد ذي معدل سريان هواء وكفاءة محددين بالنسبة لأي منطقة. وتكون المضخة المطلوبة لدفع ماء عند معدل ٥, ٧ مرة معدل البخار.

وقد أوصى⁽¹¹⁾ (Welchert) باستخدام ٦ لتر/ دقيقة لكل متر طولي من الوسادة عند تصميم مبردات ذات وسادات مصنوعة من حور الرجراج بالنسبة للمبيوت المحمية وبيوت الدواجن. وتعتبر هذه التوصية عامة لتتشمى مع ارتفاعات الوسادات السائدة والتي تتراوح من ١ إلى ٢ (م)، وتتوافق أيضاً مع توصيات (Watt).

وقد أجرى (Wiersma and Benham)⁽⁷⁾ عدة تجارب على معدلات سريان الماء بالنسبة لوسادة من حور الرجراج في الوضعين الأفقي والرأسي. وقد لخصا تجاربهما على أنه يمكن الحصول على كفاءة مناسبة مع توزيع جيد للماء عند معدلات سريان أقل من تلك التي أوصى بها (Watt). وقد أوصى باستخدام معدل للماء ٥, ٧ مرة معدل البخار أو حوالي ٤, ٢ (لتر/ دقيقة - لكل م^٢ من سطح الوسادة) مع الأخذ في الاعتبار لكل من الناحية الاقتصادية وتوزيع الماء وعملية الغسيل والصيانة وكفاءة التبريد.

ويمكن أيضاً بالنسبة للوسادات المصنعة من مادة السيلولوز ذات الأحاديدي استخدام معدل للماء المرجع ٦٠ (لتر/ دقيقة - لكل م^٢ من المساحة الأفقية) مع إضافة ١٠ إلى ٢٠٪ بالنسبة للوسادات الأطول من ٢ م⁽¹¹⁾. وقد أوصت مصانع وسائد تفل قصب السكر والمغطاة بطبقة أسمتية باستخدام ٢, ٧ (لتر/ دقيقة) لكل متر مربع من مساحة سطح الوسادة.

المعدلات المجمعة وسعة الحوض المائي

(BLEED-OFF RATES AND SUMP CAPACITY)

تتطلب المحافظة على سطح الوسادة مبللاً باستمرار مع الاقتصاد في استخدام الماء وجود حوض مائي وصمام ارتجاع. ويتوقف حجم الحوض المائي إلى حد ما على نوع المضخة ونوع الوسادة ومعدل الارتجاع. ويوجد في الجدول رقم (٢, ٦) بعض التوصيات الخاصة بذلك. ويُعرف معدل دوران الماء المطلوب على أنه المعدل

الذي يفني بحاجة الوسائد. ويجب أن تدفع المضخة كمية كافية من الماء لحدوث الارتجاع المستمر للماء والضروري لمنع تراكم المعادن على ألياف الوسادة. ويعتمد معدل الماء المرتجع على مقدار ما يحتويه من تركيزات للمعادن. وإذا وجد فقد للماء بمعدل يساوي معدل الماء المتبخر، فإن المعادن المترسبة قد يحدث لها اتزان عند مستوى يعادل ضعف مستوى الماء المستخدم. ويؤدي تقليل معدل الماء المرتجع إلى النصف إلى تركيز مقبول للملح في دوران الماء. ويعتبر استخدام معدل ارتجاع ٨ (لتر/ ساعة) لكل (م^٣/ث) من سريان الهواء معدلاً لائق قبولاً كبيراً في التجارة. وعادة ما ينتج عن ذلك تركيز للمعادن في الماء داخل الحوض المائي يساوي ثلاث مرات التركيز الموجود في الماء الخارجي.

ويمكن بالنسبة لمحتوى معلوم من المعادن حساب معدل الارتجاع لأي تركيز مسموح بمعلومية كل من المحتوى المائي من المعادن ومعدل البخر وسعة الحوض المائي. وتعتبر مهمة حساب معدل الماء المرتجع المطلوب أكثر سهولة من توفير أو للحفاظ على هذا المعدل. وفي الغالب ما يكون معدل سريان الماء المفقود قليلاً. وعادةً يمكن إتمامه في خط دورة الماء باستخدام وصلة ماسورة على شكل الحرف (T). ويمكن أن يؤدي عمل اختناق على هذا الفرع الخطي إلى التحكم في معدل السريان المرغوب. وغالباً ما يكون معدل السريان في هذا الخط ثابتاً نسبياً طالما أن الاختناق نظيف ومفتوح. وقد يؤدي تراكم الأتربة والمخلفات إلى الإيقاف الكامل للسريان إلا إذا كانت هناك صيانة دورية لهذه الخطوط.

ويُفضل بعض المهتمين بهذا المجال استخدام نظام الضخ الخارجي بدلاً من نظام الارتجاع، وذلك للحفاظ على الماء نظيفاً نسبياً. ويتم استبدال المصدر المائي المتجمع داخل الحوض على فترات دورية، وذلك للحفاظ على الماء نظيفاً.

التبريد التبخيري للدجاج اللحم

(EVAPORATIVE COOLING FOR POULTRY)

يستخدم التبريد التبخيري في معظم بيوت الدجاج اللحم التي يتم التحكم في بيئتها الداخلية في جنوب غرب الولايات المتحدة . ويوجد أيضاً العديد من المباني في المناطق الأكثر رطوبة في الولايات المتحدة الأمريكية والتي يتم أيضاً تبريدها تبخيريًا . وقد ثبت عند استخدام هذه الأنواع من البيوت زيادة في الإنتاج وتحسن في كفاءة التغذية وانخفاض معدل نفوق الطيور . وبالرغم من وجود العديد من الاختلافات في تصميم نظم التبريد التبخيري ، إلا أنه يمكن تلخيص معظم الأنظمة بأي من الأنواع التالية :

١- مبرد منزلي عادي

٢- برج وتبيل

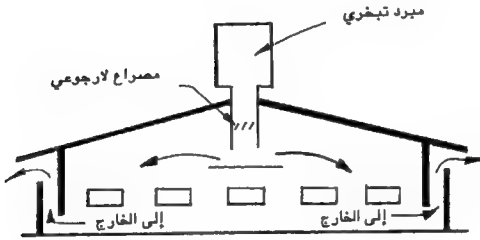
٣- وسادة ومروحة

مبرد منزلي عادي (Conventional Home Cooler)

يتم تركيب المبرد المنزلي عند تطبيقه في بيوت الدواجن على الحافة الحدية للسطح ، الشكل رقم (٤ ، ٦) . ويتم إدخال هواء التبريد إلى المبنى تحت ضغط موجب . ويتم حساب حجم فتحات مخارج الهواء على جانبي المبنى للسماح بسرعة خروج ٣ (م/ث) عند أقصى سريان للهواء . وفي الغالب يتم تركيب موزع للهواء داخل مواسير المبرد وذلك لتحسين توزيع الهواء . وتوجد أيضاً مصاريع تستخدم لمنع تسرب الهواء في اتجاه معاكس في الفترات التي يستخدم فيها معدل تهوية منخفض عند تشغيل المبرد جزئياً . ويتم توفير معدلات تهوية متغيرة باستخدام محركات كهربائية ذات سرعتين وجهاز تحكم في درجة الحرارة أو باستخدام تجميعات من مفاتيح الساعات الميقاتية . .

وتعد متطلبات الصيانة المرتفعة للمبردات من أكبر عيوب هذا النظام . ويجب يومياً مراجعة نظام توزيع المياه للتأكد من الإبلال الكامل للوسادة . ويجب أيضاً أن

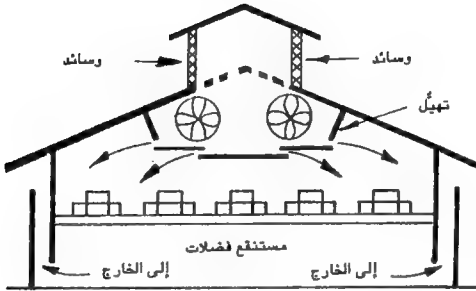
تتم عملية غسيل دورية للوسادات للتخلص من الأتربة المتراكمة . وتحتاج سيور المراوح أيضاً إلى عملية كشف دورية . ومع أن هذه المهام المطلوبة للصيانة مشتركة لمعظم النظم، إلا أن وجود هذه الوحدات المختلفة مع بعضها البعض على سطح مبنى ساخن يوضح مدى المجهود الواجب تنفيذه في عملية الصيانة الدورية .



شكل (٦،٤) . بيت دواجن مع مبرد تبخري مُركَّب على السطح

برج وتهديل (Tower and Plenum)

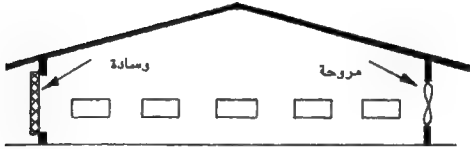
برج التبريد ببساطة عبارة عن نموذج تصميمي كبير للمبرد المنزلي العادي، الشكل رقم (٦،٥) . ولابد من توافر وسيلة لتوزيع الهواء خلال التهيل أو المواسي؛ نظراً لثولد حجم سرياني كبير للهواء في الموضع المركزي . ويتم التحكم في الهواء الخارج عن طريق نظام تجويفي مستمر بطول الحائط أو من خلال هوائيات لهواء العادم . وتعتبر نظم تركيب الأنابيب مكلفة وتتطلب العناية عند التصميم للتأكد من الحصول على توزيع جيد للهواء .



شكل (٦،٥). نظام برج سابق التجهيز وتهيل

وسادة ومروحة (Pad and Fan)

يتم تركيب المراوح في هذا النظام على أحد الحوائط الجانبية أو النهائية لسحب الهواء خلال وسادة أو مجموعة وسائد مركبة على الحائط المقابل. ويمكن استخدام الوسائد إما في وضع رأسي أو أفقي، الشكلان رقما (٦،٦) و (٦،٧). ويجب تركيب الوسائد على الحائط المقابل لاتجاه الرياح السائدة. ويجب أن تشغل الوسائد الحائط بأكمله من الركن إلى الركن، وذلك لتجنب وجود مناطق حارة داخل البيت. ويمكن مد الوسائد حول الأركان في حالة ما إذا كانت مساحة الحائط المفرد صغيرة بالنسبة للمساحة الكلية المطلوبة من الوسادة. ويمكن بمعلومية الطول المحدد للحائط تركيب كمية كبيرة من الوسائد باستخدام مجموعة من الوسائد الأفقية بدلاً من الوسادة الرأسية. ويجب أن يكون المبنى مُحكم الغلق حتى يتم إجبار كل الهواء الداخل على المرور من خلال الوسائد. ويعتبر هذا النظام اقتصادياً من حيث البناء والتشغيل وإتاحة توزيع جيد للهواء بالإضافة إلى التصميم الدقيق. وتعتبر سرعات



شكل (٦,٦). نظام وسادة ومروحة مع تركيب الوسائد رأسياً



شكل (٦,٧). نظام وسادة ومروحة مع مجموعة من الوسائد الأفقية

الهواء نسبياً منخفضة، كما يميل الهواء البارد إلى الهبوط نحو أرضية المبنى، ويعد ذلك ملائماً وخاصةً بالنسبة للطيور. وتعتبر القدرة المطلوبة لهذا النظام أقل بكثير من القدرة المطلوبة لنظام برج وتهيل.

ويجب أن يتمشى سريان الهواء المطلوب بالنسبة للنظم المختلفة مع حمل التدفئة المتضمن. فيكون سريان الهواء المطلوب حوالي واحد تغير حجمي كلي في الدقيقة عند استخدام أسطح للمبنى معزولة جيداً ومعدل تحميل تجاري من الطيور.

ويتضمن استخدام بيوت للدواجن محكمة الغلق وبدون شبابيك وذات تهوية ميكانيكية مخاطرة مالية في حالة انقطاع الطاقة الكهربائية. وعلى ذلك فمن الضروري وجود نظام إنذار لتوضيح حالات انقطاع التيار، وكذلك وجود نظام احتياطي للطاقة الكهربائية يمكن الاعتماد عليه في التشغيل في تلك الحالات.

التبريد التبخيري للبيوت المحمية

(EVAPORATIVE COOLING FOR GREENHOUSES)

تأخذ معظم نظم التبريد التبخيري للبيوت المحمية شكلاً من نظم المراوح والوسائد المستخدمة في بيوت الدواجن. وتستخدم نظم التبريد التبخيري في البيوت المحمية لتبريد وتشبع الهواء الداخل. وتحمل النباتات - بعكس الحيوانات - الرطوبة المرتفعة والمتولدة من عملية التبريد بالتبخير؛ نظراً لانخفاض ضغط الماء التبخيري عند سطح الأوراق. وتعتبر رطوبة نسبية من ٧٠ إلى ٨٠٪ مفضلة مع درجات حرارة تتراوح ما بين ٢١ و ٢٧°م، وذلك اعتماداً على مستويات الطاقة الشمسية والمستغلة في عملية البناء الضوئي ونوع المحصول.

ويتضمن تصميم حمل التبريد التبخيري في البيوت المحمية إضافة الطاقة الشمسية المكتسبة لحظياً بواسطة الهواء المكثف بعكس المباني المعزولة. وبناءً على ذلك يجب أن تكون الوسادة المبللة ذات كفاءة استخدام مرتفعة بقدر الإمكان لتعويض الارتفاع في درجة الحرارة والانخفاض في الرطوبة النسبية لمخلوط الهواء والبخار. فقد تنخفض مثلاً الرطوبة النسبية لحظياً من ٩٠٪ إلى ٨٠٪ في يوم مشمس، وذلك بعد حوالي ثلاثة أمتار فقط من مرورها من الوسادة^(٣٠).

وتعمل أوراق النباتات أيضاً عمل الوسائد التبخيرية (فصل ١١)، حيث يتأثر الانحدار في درجة الحرارة والرطوبة من الوسادة إلى المروحة تأثيراً كبيراً بمعدل نتح الرطوبة من الأوراق. وقد وجد^(٢) (Montero) أن أوراق النباتات تبرّد تبخيراً إلى قرب درجة حرارة الهواء أو المبرد عند رطوبة نسبية ٨٠٪ أو أقل، بينما تكون ورقة النبات المعرضة للإشعاع المباشر في يوم مشمس مضى عند رطوبة نسبية أعلى من ٨٠٪ وعند درجة حرارة أعلى من درجة حرارة الوسط بمقدار ٣°م أو أكثر. وهكذا،

يجب أن يكون مستوى الرطوبة النسبية في حدود من ٧٠ إلى ٨٠٪ للحصول على أفضل جودة وغو للنبات وتقليل الإجهادات الناشئة من كل من الحرارة والرطوبة على أوراق نباتات البيوت المحمية (الذبول).

وعامة يوصى باستخدام معدل تهوية داخل البيوت المحمية في حدود من ٣/٤ إلى ١ تغيير هوائي في الدقيقة. ويتناسب ارتفاع درجة حرارة الهواء منذ لحظة الدخول إلى الخروج تناسباً عكسياً مع معدل سريان الهواء. فيؤدي استخدام معدل سريان للهواء - في يوم مشمس - ٣/٤ تغيير هوائي إلى ارتفاع درجة حرارة الهواء ٦ م°، بينما يتولد عن استخدام واحد تغيير هوائي ارتفاع في درجة الحرارة حوالي ٥ م°.

وفي بعض الأحيان يُزاد أقصى معدل تهوية تصميمي بالنسبة لمستويات إضاءة أعلى من ٥٤ كيلو لاكس (klx). وتعتبر المعلومات المتاحة لهذا التعديل قليلة؛ نظراً لأن البيوت المحمية في هذه المناطق في الغالب ما تكون بيضاء اللون لتقليل الحمل الحراري الشمسي داخل البيت المحمي. ويُفضل استخدام مسافة بين الوسادة والمروحة من ٣٠ إلى ٥٠ م. أما بالنسبة للبيوت المحمية الطويلة، فيتم تركيب المراوح في منتصف السقف والوسائد على نهايتي البنى. ويساعد هذا التصميم على تقليل سرعات الهواء عبر النباتات. وقد تتكون في بعض الأحيان بقع هوائية ساكنة حارة أسفل المراوح. وفي الغالب ما يتم زيادة سرعة الهواء (٧) (م/دقيقة) بالنسبة لفتحة هواء تبعد مسافة (D) ٣٠ م أو أقل من المروحة، وذلك لزيادة التبريد التبخيري للنباتات. ويمكن حساب السرعة المرغوبة من المعادلة التالية^(٨):

$$V = 5.5D^{0.5} \quad (٦, ٢)$$

ويتم حساب المساحة السطحية المطلوبة للوسادة بعد اختيار معدل التهوية. ويتم تعديل المساحة لتلبية سرعات الهواء الموصى باستخدامها بالنسبة لنوع معلوم من مادة الوسادة، وذلك كما هو موضح في الجدول رقم (١، ٦).

ويُفضل لأغراض الحماية تركيب أجزاء الوسادة في فتحات مداخل الهواء. ولاحتجاج فتحة التهوية لأن تكون مستمرة بقدر ما تكون منتظمة التوزيع. ويجب في حالة إتمام عملية تجميع الوسادة خارج فتحة المدخل أن تكون الفتحة مستمرة مع عدم وجود أي عرائق، وأن تكون أيضاً في موضع متمركز بالنسبة للوسادة. ويجب أن

تكون أقصى سرعة تصميمية للهواء خلال فتحة التهوية في حدود ٨، ١ (م/ث). ويجب - عندما يزداد ارتفاع الوسادة عن ارتفاع فتحة التهوية - زحزحة الوسادة إلى الخلف مسافة تعادل على الأقل نصف فرق الارتفاع بين الوسادة وفتحة التهوية.

ويتم في بعض البيوت المحمية ذات السعات الداخلية الكبيرة مع وجود أسقف جمالونية وضع حواجز رأسية فوق النباتات وفي اتجاهات متعامدة على سريان الهواء، وذلك لتجنب تبريد كل هواء العلبة. ولكن يعتبر هذا التجهيز غير ضروري في معظم التطبيقات؛ نظراً لأن الهواء البارد يكون أعلى كثافة من هواء العلبة ويميل إلى البقاء في منطقة النباتات. وقد تستخدم الحواجز في بعض الأحيان للحصول على تبريد أفضل خاصة في المناطق أسفل المناضد.

ويتم بعد اختيار سعة كل من المراوح والوسائد تحديد حجم المراوح المطلوبة والمسافات فيما بينها، وذلك للحصول على توزيع متظم لسريانات الهواء عبر البيت المحمي. فيجب أن لا تزيد سرعة الهواء عبر أي نبات على ١ (م/ث)^(٨). ويجب أن لا تزيد المسافات بين كل مروحتين متاليتين على ٥، ٧ م، وأن يتم تركيب المراوح على الجانب المقابل للرياح. ويجب أن تغطي المراوح بستائر محكمة الغلق لمنع حدوث تلفيات للنباتات من جراء هواء الشتاء البارد.

ونظراً لأن العديد من البيوت المحمية التجارية والكبيرة السعة تُبنى جنباً إلى جنب، فإنه من الضروري عند تركيب المراوح مراعاة تجنب وجود هواء العادم من أحد البيوت المحمية مجاوراً لوسادة بيت آخر. وبناء على ذلك يجب أن تكون المراوح على مسافة لا تقل عن ١٥ م من فتحة دخول هواء أخرى ذات وسادة تبريد. ويجب في حالة مواجهة المراوح لبعضها أن تتعاون المراوح الخاصة بنظام تبريدي مع المراوح المواجهة لها، إلا إذا كانت المراوح المقابلة تبعد مسافة على الأقل ٤ مرات القطر. وتوجد معلومات أخرى إضافية مدونة في فصل ١٢ عن نظم التبريد التبخيري للبيوت المحمية، "نظم تهوية البيوت المحمية".

التبريد التبخيري للماشية الحلابة

(EVAPORATIVE COOLING FOR DAIRY CATTLE)

يمكن أيضاً استخدام التبريد التبخيري كوسيلة اقتصادية للحصول على جو ملائم في حظائر الماشية الحلابة. فتعاني الماشية الحلابة في الصيف الحار من إجهاد حراري كبير. ولا يؤدي هذا الإجهاد الحراري إلى الإقلال من إنتاج اللبن فقط، بل يؤدي أيضاً إلى مشاكل حادة في عمليات الولادة.

ولاتوافق نظم تربية الماشية مع بعض الحيوانات الأخرى من حيث تعرض الحيوانات المستمر لنظم الترطيب بالرش، ولكن تعتمد تهيئة الجو على تبريد الهواء. فنجد بالنسبة للمناطق الجغرافية الشديدة الحرارة أن معظم حظائر الماشية التجارية مفتوحة، وأن عملية التبريد التبخيري لتحسين حالة الجو تكون صعبة إلى حد ما.

ومجد في ولاية أريزونا - حيث يلقي نظام التبريد التبخيري قبلاً كبيراً - أن عملية التربية تتم في زرايب مفتوحة مع توفير مظلات للحماية فقط من أشعة الشمس. ويتم تبريد بيئة الماشية باستخدام نظام تبريد مصمم خصيصاً ومتصل بجانب المظلة، بحيث يدفع الهواء مباشرةً جهة الماشية. وفي الغالب ما يتم بناء حائط على أحد جانبي المظلة، وذلك لمنع التداخل بين الهواء المدفوع وتيار الهواء الطبيعي الخارجي. ونظراً لأن هذا النظام يعتبر نصف مفتوح، فإن معدل سريان الهواء المطلوب يكون أكثر مما لو كانت الحيوانات داخل حظائر مغلقة. ويوصى حالياً باستخدام على الأقل ٥ (م^٣/ث) من الهواء لكل بقرة^(٥). ونظراً لأن كل بقرة تشغل من ٤ إلى ٥ م^٢ من مساحة المظلة، فإن سريان الهواء المطلوب يعادل من ٢ إلى ٥,٢ م^٣/ث في الدقيقة. وتنتج كل بقرة تحت الظروف البيئية المحسنة حوالي ٥٠ كجم لبناً زيادة في السنة عن البقر الموجود تحت مظلة فقط بدون أي عملية ترطيب للوسط المحيط. هذا بالإضافة إلى تحسن كفاءة الولادات مثلاً في منفعة مالية تقدر بنفس التحسن في إنتاج اللبن. وتعتبر هذه النظم مكلفة، ولكن تعتبر المنافع المتوقعة وغير المنظورة كثيرة بالمقارنة بالتكاليف الزائدة عند استخدام نظام تبريد تبخيري.

وقد تم إجراء العديد من الاختبارات على التبريد التبخيري للماشية الحلابة في أجزاء أخرى من الولايات المتحدة مثل ولايات الميسيسيبي وأنديانا ولويسيانا و أوكلاهوما وفلوريدا. وتعتبر الرطوبة النسبية المرتفعة من أهم العوامل التي تحد من كفاءة التبريد التبخيري في تلك المناطق. ونتيجة لذلك، فإن اقتصاديات التبريد التبخيري تعتبر إلى حد ما غير مفضلة. وقد استخدم (Hahn and Osburn)⁽¹⁷⁾ الطرق الاحتمالية مجتمعة مع بيانات مناخية لمعرفة مدى استجابة الماشية الحلابة للبيئة، وذلك كأساس للتقييم الاقتصادي الخاص بتهيئة البيئة. وقد قدم الباحثان خرائط للولايات المتحدة تحتوي على خطوط متساوية تمثل الفصول المتوقعة للحصول على أفضل تربية للأبقار عند مستويات إنتاج مختلفة. وقد تم أيضاً وضع خطوط متساوية لمكاسب التبريد التبخيري عند ثلاث مستويات إنتاج. وتعتمد تلك الخطوط على استخدام قيم تعتبر حالياً مهملة، ولكن يسمح هذا النهج بإدخال بيانات محلية حديثة وأكثر ملاءمة.

التبريد التبخيري لإنتاج أبقار اللحم

(EVAPORATIVE COOLING FOR BEEF PRODUCTION)

تتأثر أبقار اللحم بالإجهاد الحراري فتقل الزيادة اليومية في الوزن مع ارتفاع درجة حرارة الوسط. وقد يُعاد اكتساب ما فقد عند تحسن الجو وخاصةً إذا كانت موجة الحر قد استغرقت فترة من الوقت قصيرة نسبياً. وتتضمن الوظيفة الفسيولوجية المرتبطة بزيادة الوزن انخفاضاً في كمية الحرارة المتولدة عن ما إذا كانت تستخدم في إنتاج اللبن أو أثناء الحمل بالنسبة لبقرة حلوب، وعلى ذلك يكون الإجهاد الحراري الكلي على حيوان اللحم أقل. ولا تعتبر زيادة النسل في مزارع الإنتاج الحيواني جزءاً من العملية، ومن ثم فإن تكلفة تهيئة الوسط المحيط بالحيوان يجب أن تُعرض بتحسين في الزيادات الوزنية. وقد أوضحت بعض التجارب في ولاية كاليفورنيا أنه يمكن الوصول إلى تحسن في الإنتاج باستخدام التبريد التبخيري، ولكن قد لا يتناسب مستوى التحسن في الإنتاج مع التكاليف المرتبطة. ونتيجة لذلك، لا يمكن اعتبار استخدام التبريد التبخيري لإنتاج اللحم عملياً من الناحية الاقتصادية.

المراجع

- 1 Watt, John R. 1953. Investigation in evaporative cooling. Report to U.S. Naval Civil Engineering Research and Evaluation Laboratory.
- 2 Montero, J. I., T. H. Short, R. B. Curry, and W. L. Bauerle. 1981. Influence of evaporative cooling systems on greenhouse environment. ASAE Paper No. 81-4027, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
- 3 Walker, J. N. and D. J. Cotton. 1968. Cooling of greenhouse with various water evaporation systems. TRANSACTIONS of the ASAE 11(1):116-119.
- 4 Buffington, D. E., T. C. Skinner, Barbara Collette and Daniel Borer. 1978. Evaporative cooling for hot, humid climates. Paper presented at the Southwest-Southeast Regional Meeting. ASAE, Houston, TX, February 5-8.
- 5 Wiersma, F., G. H. Stott and Otis Lough. 1972. Consider cooling possibilities: The practical aspects of cooling dairy cattle. Publication P-25, The University of Arizona.
- 6 Watt, John R. 1963. Evaporative air conditioning. The Industrial Press.
- 7 Wiersma, F. and D. S. Benham. 1974. Design criteria for evaporative cooling. ASAE paper No. 74-4527, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
- 8 American Society of Agricultural Engineers. 1982. ASAE Engineering Practice for Heating, Ventilating and Cooling Greenhouses. EP 406, ASAE, St. Joseph.
- 9 Petersen, R. J. Evaporation from surfaces. ASHRAE Journal Section, Heating, Piping and Air Conditioning. August, 1955.
- 10 Thornburg, M. L. and P. M. Thornburg. Cooling for Arizona homes. University of Arizona Agricultural Extension Circular No. 105: May, 1939.
- 11 Welchert, W. T. and Frank Wiersma. Evaporative cooling for laying houses in Arizona. ASAE Paper 72-914.
- 12 The Munters Corporation. Promotional literature for Humi-Kool evaporative cooling media. Publication 7604.46.
- 13 Omtvedt, I. T., R. E. Nelson, Ronnie L. Edwards, D. F. Stephens and E. J. Turman. 1971. Influence of heat stress during early, mid and late pregnancy of gilts. J. Animal Sci. 32:312.
- 14 Teague, H. S., W. L. Roller and A. O. Grifo, Jr. 1968. Influence of high temperature and humidity on the reproductive performance of swine. J. Animal Sci. 27:408.
- 15 Tomkins, E. C., C. J. Heindenreich and Martin Stob. 1967. Effect of post-breeding thermal stress on embryonic mortality in swine. J. Animal Sci. 26:377.
- 16 Wettemann, R. P. and R. K. Johnson. 1978. Influence of heat stress on reproductive performance of swine. Proceedings, N.C. Pork Producers Conference, January 12-13, 1978, Raleigh, NC.
- 17 Hahn, G. L. and D. D. Osburn. 1970. Feasibility of evaporative cooling for dairy cattle based on expected production losses. TRANSACTIONS of the ASAE 13(6):289-291, 294.
- 18 Hahn, G. L., N. F. Meador, G. B. Thompson and M. D. Shanklin. 1974. Compensatory growth of beef cattle in hot weather and its role in management decisions. Proceedings of the International Livestock Environment Symposium; Lincoln, Nebraska; Apr. 17-19, 1974.
- 19 Kelly, C. F., T. E. Bond and N. R. Itner. 1955. Water cooling for livestock in hot climates. AGRICULTURAL ENGINEERING 36(3):173-180.
- 20 Wiersma, F., D. E. Ray and C. B. Roubicek. 1973. Modified environment for beef in hot climates, TRANSACTIONS of the ASAE 16(2):348-349, 353.

تأثيرات البيئة الحرارية والغازية على الحيوانات المزرعية والدواجن*

(EFFECTS OF THE THERMAL AND GASEOUS
ENVIRONMENT ON LIVESTOCK)

- مقدمة • ثبات درجة حرارة الجسم • الاتزان الحراري
- تأثيرات درجة الحرارة • تأثيرات الرطوبة • تأثيرات
- سرعة الهواء • تأثيرات ملوثات الهواء .

مقدمة

(INTRODUCTION)

من المعروف في حالات كثيرة أن الإجهادات المفروضة على الحيوانات سواء كانت بيئية أو غذائية أو باثولوجية أو غيرها يكون لها تأثير كبير على الإنتاج الحيواني . وتقتصر المناقشة في هذا الفصل فقط على متطلبات الحيوانات المرتبطة بالبيئة داخل مبنى التربية . ونظراً لأن هذا الكتاب مرتبط بتهوية المنشآت الزراعية ، فإن المناقشة سوف تكون مكرسة على البيئة الداخلية ، ولم يؤخذ في الاعتبار عوامل أخرى مهمة في نظم التربية المغلقة مثل أمن وأمان الحيوان والاحتياجات الاجتماعية^(١) .

ومع أن منشآت الإنتاج الحيواني تستخدم في الأجواء الباردة ، إلا أن السبب الرئيسي في الغالب ليس لتهيئة البيئة . فتصمم المنشأة وتبنى لتسمح بالتعامل مع

* سكوت ، ن . ر . : جامعة كورنيل - ألتاكا

ديشازر ، ج . أ . : جامعة نبراسكا - لينكولن

رولر ، ل . و . : جامعة ولاية أوهايو - كولومبوس

الحيوانات بكفاءة من حيث التغذية والوقاية الصحية وتوفير الأمان للحيوانات. ويجب أيضاً عدم إهمال مفهوم الراحة الأدمية في نظام الإنتاج الحيواني، حيث يعتبر عاملاً مهماً جداً في تهئية البيئة. ولكن، وبإستثناء الحيوانات الصغيرة - حديثة الولادة - حيث تعتبر بعض التعديلات ضرورية، فإن التحكم في البيئة الحرارية للحيوانات الكبيرة ليس له في العادة ما يُبرره اقتصادياً.

ويغض النظر عن السبب في اختيار نظام الإيواء المغلق، فنجد بمجرد الاختيار لنوع الحماية أن المفاهيم الخاصة بالبيئة الغازية والحرارية قد أصبحت مهمة جداً. وتعتبر عملية التهوية المحرك الأساسي الذي من خلاله يمكن الحصول على الظروف البيئية المناسبة داخل المبنى. ويعتبر الدور الذي يقوم به نظام التهوية معقداً؛ نظراً للتأثيرات التفاعلية لكل من الأمراض والتغذية والغازات السامة والأتربة والحيز وعوامل أخرى غير معروفة مثلها مثل البيئة الحرارية^(٢٠، ٢١). ويوجد تأثير واضح لهذه العوامل سواء كانت فردية أو مجتمعة على كل من النمو والإنتاج وزيادة النسل والسلوك، وأخيراً على العائد لمؤسسة الإنتاج الحيواني.

ويهدف هذا الفصل إلى تطوير المفاهيم التي تشكل الخاصية الأساسية في تصميم نظم التهوية لإتاحة بيئة حرارية وغازية أفضل. وسوف تُشكل أساسيات الفسيولوجيا الحرارية والمفاهيم المجسدة لسريان الطاقة الأساس الذي يجب أخذه في الاعتبار بالنسبة للتأثيرات المحددة للبيئة الحرارية على كل من النمو والإنتاج وزيادة النسل. ويتضمن تعريف البيئة الحرارية كلاً من درجة حرارة الهواء والمحتوى الرطوبي للهواء وحركة أو سرعة الهواء وتبادل الإشعاع الحراري.

ثبات درجة حرارة الجسم

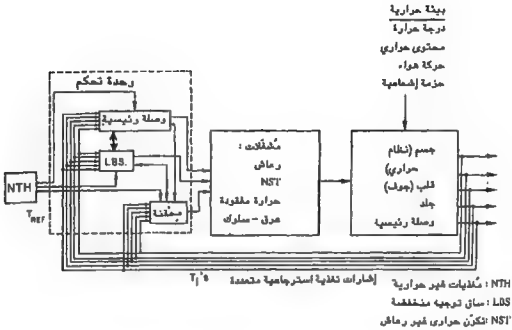
(HOMEOTHERMY)

تعتبر حيوانات المزرعة من الأنواع التي تحافظ على درجة حرارة ثابتة للجسم "Homeothermic" بالرغم من التغيرات الكبيرة في الظروف البيئية المحيطة بها. ف يتم التحكم في درجة الحرارة في معظم الحالات سلوكياً وفسيولوجياً. ولكن بالنسبة

للإبواء المحكم، فإنه يمكن لنظام الإدارة المستخدم أن يمنع أو يحفز الاستجابات السلوكية للحيوانات. فعلى سبيل المثال، قد تمنع تربية الدواجن في أقفاص فردية تحت ظروف برد قارس من الالتصاق مع بعضها البعض للتدفئة، بينما يمكن تشجيع الخنازير على التأقلم بتوفير مناطق خاصة بالتخلص من الفضلات وأخرى للراحة. ويتم ذلك عن طريق التحكم في كل من درجة الحرارة ومعدل سريان الهواء.

وتعتبر تعقيدات وكفاءة عملية التنظيم الحراري مؤثرة. وقد أصبحت مفاهيم نظم التحكم في التغذية الاسترجاعية (feedback) السالبة والتي كانت شائعة الاستخدام في الهندسة في حكم المتهية، وذلك لتبسيط تمثيل الاستجابات الفسيولوجية واستجابات التنظيم الحراري. ويوضح الشكل رقم (١، ٧) رسماً تخطيطياً مبسطاً لنظام تغذية استرجاعي بالنسبة للتنظيم الحراري. ويمكن بسهولة عن طريق تتبع الإشارات المروية حول الرسم فهم هذا النظام. ويكون الفرق بين إشارة مرجعية (T_{ref}) والتحكم الفعلي في التزويدات الحرارية (T_i) الأساس في عملية التنظيم. وتُسبب التغيرات في البيئة الحرارية حالة من عدم الاتزان بين معدل الحرارة المتولدة والحرارة المفقودة، التي تؤدي بدورها إلى تغيير درجة حرارة الجسم. ويتم حس هذا التغير بواسطة مستقبلات حرارية من خلال نقاط كثيرة في الجسم تعمل على تغذية المقارن، بحيث يتولد عن الفرق بين ($T_{ref} - T_i$) إشارة "خطأ" تعمل على إدارة المشغل الميكانيكي الخاص بعملية التنظيم الحراري. ويؤدي هذا النشاط من أجهزة التحكم إلى ضبط الحرارة المتولدة - معدل الأيض الحراري - أو ميكانيكية الحرارة المفقودة - حرارة مفقودة مع التنفس أو العرق أو حركة الأوعية الدموية أو انتصاب الشعيرات والاستجابات السلوكية - أو كل منهما، وذلك لتقليل الفرق بين الدرجة المضبوطة والتزويدات الحرارية المتحكم فيها.

وجدير بالذكر أنه يصعب في هذا العرض الموجز عمل تغطية كافية للنظريات العديدة وتعقيدات التنظيم الحراري. ويمثل الشكل رقم (١، ٧) خصائص عامة لنظم التحكم الحراري على أساس الأبحاث التي تجرى في الوقت الحاضر. وتحتوي الأبحاث السابقة على مراجعة متميزة لنماذج من التنظيمات الحرارية بالنسبة للحيوانات الثديية والطيور (٤-٧).



شكل (١، ٧). رسم تخطيطي يوضح نظام تنظيم درجة الحرارة مع أجهزة حس وتحكم وتشغيل متعددة.

ويوجد بناءً على تجارب عديدة أجريت على الحيوانات الثديية والطيور العديد من الحقائق المهمة التي تقترح تعدد مصادر التزويد ودوائر التغذية الاسترجاعية وآليات التشغيل^(١١). وقد أوضحت الأبحاث حدوث الاستجابات الحرارية خارج الهايبوتلاموس (hypothalamus) أو ما تحت السريبر البصري، والتي كانت تعتبر في وقت ما الجهة المركزية الوحيدة للاستجابات الحرارية. وقد أوضحت الدراسات أيضاً أن التزويدات الحرارية الداخلة إلى نظام التحكم الحراري نابعة في الأصل من الأحيال الشوكية والدماغ الأوسط والبطن والنخاع المستطيل والجلد بالإضافة إلى

الهيبوتلاموس. وهكذا، فيوضح الشكل رقم (١، ٧) أن تزييلات الحس الحراري تتكون من العديد من إشارات التغذية الاسترجاعية خلال الجسم.

وقد تم بناء الشكل رقم (١، ٧) لتوضيح تعدد أدوات التحكم على أساس وجود تعددية خاصة بالتنظيم الحراري. وقد أوضح البرهان أن أدوات التحكم المتعددة قد تؤدي وظائفها بنوع من الاستقلال بالرغم من أنه يُفترض أن تتعاون تلك الأدوات مع بعضها البعض^(٢٠). ويوضح الشكل رقم (١، ٧) كلاً من الوظائف المستقلة والتعاونية والخاصة بأدوات تحكم متعددة. ونظراً لأنه يمكن الحصول على دقة في تنظيم درجة الحرارة عندما يكون الهيبوتلاموس سليماً، إلا أنه يجب الأخذ في الاعتبار أن الهيبوتلاموس يقوم بدور المراقب^(٢١). ويمكن توضيح هذا الدور بواسطة الإشارات المزدوجة التي تصل الوصلة الرئيسية وساق التحكم المنخفضة مع الهيبوتلاموس، بينما توضح أيضاً الفعل المستقل والمتوازي.

وقد بررت النتائج التي أجريت على العديد من الحيوانات الشديدة والطيور الفرض القائل إنه يمكن قيادة كل واحد من المشغلات الميكانيكية بواسطة كل أداة من أدوات التحكم^(٢٢). ويوجد برهان كافٍ في الأعمال السابقة يوضح التأثير النوعي لكل مشغل ميكانيكي بواسطة كل أداة تحكم، بينما لا توضح النتائج الكمية دائماً تساوي التأثيرات في استجابات التنظيم الحراري. ومن المؤكد أن كل حيوان مزرعي لا يستخدم كل واحد من المشغلات الميكانيكية الموضحة في الشكل رقم (١، ٧) - مثلاً لا تعرق الدواجن، ويحتمل أن لا تبدي تكوينات حرارية ارتعاشية. ولا يبدو أيضاً وجود أنشطة لحظية بالنسبة لاستجابات المشغلات المعارضة^(٢٣).

ويُفترض في الشكل رقم (١، ٧) أن نظام تزويد-تحكم متعدد قد يؤثر على السلوك. وقد يؤثر تسخين وتبريد الوصلة الرئيسية والهيبوتلاموس وساق التحكم المنخفض على سلوك التنظيم الحراري^(٢٤). وقد تمت دراسة استجابات التنظيم الحراري على كل من حركة الحيوانات والاختلاط والتزاحم وتغيرات معدلات الغذاء والماء والتكيف الفعال. وقد حدد (Baldwin)⁽²⁶⁾ استجابات التنظيم الحراري السلوكية التي ظهرت على الحيوانات الشديدة والطيور عند كل من درجات حرارة منخفضة ومرتفعة.

وتعطي عملية تكييف فعال الحيوان فرصة التحكم في البيئة الحرارية عن طريق تشغيل آلية تسمح بتولد تغير حراري في الوسط. فعلى سبيل المثال، يتم تشغيل مصباح أشعة تحت حمراء في الوسط البارد أو توفير مصدر تبريد لفترات قصيرة في الوسط الحار. ولا يمكن منع استجابات التنظيم الحراري السلوكية، حيث يبدو أن كل أداة من أدوات التحكم تؤثر على السلوك. مرة أخرى، قد تختلف التأثيرات الكمية بين مسارات أدوات التحكم^(٢٧). ونجد بالإضافة إلى ذلك أن التفاعل بين استجابات السلوك الآلية والفعالة توضح استجابات مفضلة. وتستخدم الدواجن عند التعرض لوسط بارد استجابات ارتعاش خاصة بها، كما يحتم الطائر ليغطي الأرجل غير المغطاة بالريش، وكذلك يشي الطائر الرقبة تحت الجناح بدلاً من عمل فعالتي للحصول على إمدادات حرارية^(٢٨، ٢٩). ولم تؤخذ في الاعتبار تأثيرات تجهيزات الولادة على التنظيم الحراري السلوكي، وأن اعتبارات جادة بهذا المفهوم لا بد وأن تؤخذ.

ومع أن الرسم التخطيطي في الشكل رقم (١، ٧) ييسر عملية التنظيم الحراري، إلا أن الرسم يتيح أساسيات فهم أهمية التفاعلات بين الحيوان والبيئة الحرارية. وعلى ذلك، يمكن النظر إلى التفاعلات بين البيئة الحرارية والحيوان من خلال الاتزان الحراري. فتجد من وجهة النظر العملية أن الحيوان يصبح عند أقصى كفاءة نشطة عندما يكون تحويل الغذاء إلى منتج قابل للبيع قد بلغ أقصاه. وهكذا، فإن التأثير المباشر للبيئة الحرارية على تبادل الطاقة يمكن أن يقلل من الكفاءة عن طريق زيادة الحرارة المفقودة أو بانخفاض طاقة الغذاء المستخدم.

الاتزان الحراري

(ENERGY BALANCE)

يعرف الفرق بين الطاقة المكتسبة بواسطة الحيوان ومجموع الطاقات المفقودة بالطاقة الصافية، وهي التي تستخدم بواسطة الحيوان في النمو وزيادة النسل والحركة. ويزداد معدل التغذية، وبالتالي الطاقة المضافة للحيوان في الجو البارد، بينما يقل في الجو الحار^(٣١، ٣٢، ٣٣). كما يزداد أيضاً معدل التخلص من الفضلات سواء الروث أو البول مع الجو البارد^(٣٤) ويقل مع الجو الحار. وبناءً على ذلك، فإن

الطاقة الأيضية (metabolizable energy) - والتي تُعرف على أنها الطاقة الكلية مطروحاً منها الطاقة المفقودة مع الروث والبول وفراقد الغازات - سوف تتغير مع درجة الحرارة. وقد تم ربط الأيض الحراري بيانياً^(٣٥) ورياضياً^(٣٦) مع درجة الحرارة والفقد الحراري للحيوان.

ويُستخدم القانون الأول للديناميكا الحرارية للتعبير عن ائزان الطاقة الحرارية للحيوان كالآتي:

$$(١, ٧) \quad MHP \pm J \pm qrt \pm qcv \pm qcd - EHL = W(C_p)(dT_b/dt)$$

حيث:

MHP = معدل الطاقة الحرارية المتولدة بواسطة الأيض

J = معدل الشغل الميكانيكي

qrt = معدل الحرارة المنتقلة بالإشعاع

qcv = معدل الحرارة المنتقلة بالحمل

qcd = معدل الحرارة المنتقلة بالتوصيل

EHL = معدل فقد الحرارة المستخدم في تبريد الماء

W = وزن الحيوان

C_p = الحرارة النوعية لكتلة الجسم

T_b = درجة حرارة الجسم

t = الزمن.

وكما هو مُبين، فإن الإشارة تكون موجبة بالنسبة للمركبات الخاصة بالحرارة المفقودة إذا كانت الطاقة المنتقلة تعمل على رفع درجة حرارة جسم الحيوان، بينما تكون الإشارة سالبة إذا كان الحيوان يفقد هذه الطاقات في الوسط المحيط به. ويعتبر الشغل المبذول (٧) من الحيوان صغيراً بالمقارنة بالمركبات الأخرى، كما أنه يصعب قياسه، وعلى ذلك يمكن إهمال هذا الجزء. وغالباً ما يؤول الطرف الأيمن من المعادلة

السابقة- وهو يمثل الحرارة المخزنة داخل الجسم- إلى الصفر؛ نظراً لاحتفاظ جسم الحيوان في حالة الاتزان بدرجة حرارة ثابتة. وعلى ذلك، فإن المعادلة السابقة تكون عبارة عن علاقة تربط أساساً بين الحالة الفسيولوجية للحيوان والبيئة الحرارية.

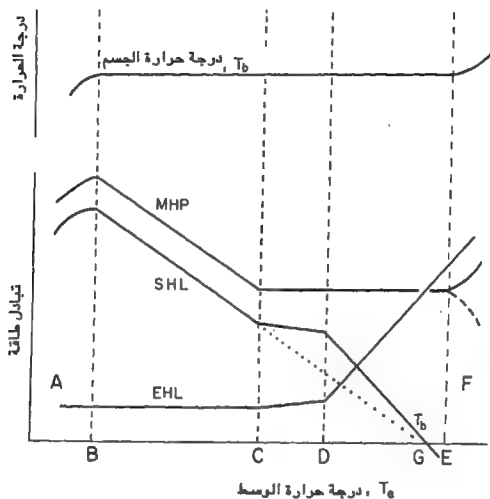
أيض الطاقة (Energy Metabolism)

تستخدم الطرق المسعّرة (الكالوريمترية) المباشرة وغير المباشرة في قياس أيض طاقة الحيوانات المزرعية^(١١,٣٧). ومن الناحية الفنية نجد أن الطرق المباشرة تقيس الحرارة المفقودة وليس أيض الطاقة المتولد (MHP). وتُسجل البيانات في معظم الدراسات الكالوريمترية عندما يكون الحيوان في حالة اتزان حراري. وبناءً على المعادلة رقم (١، ٧)، فإن أيض الطاقة (MHP) يساوي الحرارة الكلية المفقودة (THL). وتوجد دراسات قليلة جداً عن استخدام الطرق المسعّرة اللحظية سواء المباشرة أو غير المباشرة.

ويعطي الشكل رقم (٢، ٧) رسماً تخطيطياً للتمثيل البياني للمعادلة رقم (١، ٧). ويعتبر ذلك الرسم مبسطاً جداً عند توضيح العلاقات بين كل من أيض الطاقة المتولد (MHP) والحرارة المحسوسة المفقودة (SHL) والحرارة المفقودة بالتبخير (EHL) ودرجة حرارة الجسم كدالة في درجة حرارة الوسط. وقد عرّف⁽⁶²⁾ (Mount) درجة حرارة الوسط في هذا السياق على أنها درجة حرارة الهواء المساوية لدرجة حرارة الإشعاع المتوسط في نظام حمل حر عند رطوبة نسبية ٥٠٪.

ويوضح الشكل رقم (٢، ٧) أيضاً العلاقات بين سريان الطاقة في مدلولاتها العامة. وهكذا، فتعتمد القيم الفعلية والعلاقة بين المنحنيات على أجناس الحيوانات مثلهمما مثل عوامل التغذية والعمر والتأقلم والسلوك والتنظيم الإدارية. وسوف يتم تقديم القيم الفعلية لحيوانات المزرعة في أجزاء قادمة من هذا الفصل.

ولقد أدت التغييرات في استخدام المصطلحات الفنية بالنسبة للمناطق البيئية والتعادل الحراري إلى خلق نوع من الإربك^(١٦). ويتبع العرض الخاص بالشكل رقم (٢، ٧) المقترح الخاص بـ⁽⁶²⁾ (Mount)؛ نظراً لأن هذا المقترح يبدو دقيقاً في التعريف



شكل (٧، ٢). رسم تخطيطي عام يوضح تجهيز الطاقة المتبادلة مع حيوان كدالة في درجة حرارة الوسط (كَيْفَت من Mount⁽⁶²⁾).

وغير مشوش. وقد تم تحديد المناطق والنقاط على الشكل رقم (٧، ٢) لتكون: منطقة (A) - منطقة ما تحت الاعتدال الحراري؛ ومنطقة (CD) - منطقة أقل مجهود

لتنظيم الحراري؛ ومنطقة (CE) - منطقة أقل أبيض حراري؛ ومنطقة (BE) - منطقة الانتظام الحراري؛ ونقطة (B) - درجة حرارة أقصى قيمة لـ (MHP)، ونقطة بداية ما تحت الاعتدال؛ ونقطة (C) - درجة الحرارة الحرجة التي تحتها يبدأ (MHP) في الازدياد من أقل قيمة له بانخفاض درجة حرارة الوسط؛ ونقطة (D) - درجة الحرارة التي تبدأ عندها الزيادة الواضحة في (EHL) مع ارتفاع درجة حرارة الوسط؛ ونقطة (E) - درجة حرارة بداية ما فوق الاعتدال؛ ونقطة (G) - النقطة التي عندها (SHL = 0.0)؛ نظراً لتساوي درجة حرارة الوسط مع درجة حرارة الجسم.

ويفترض أن تكون (SHL) في المدى (BD) ذات علاقة خطية؛ نظراً لأن الحرارة المفقودة تتناسب تقريباً مع الفرق بين درجة حرارة الحيوان ودرجة حرارة الوسط. ويظل العزل الحراري الكلي (ميل خيط SHL) ثابتاً عند أقصاه في هذا المدى نتيجة لانقباض الأوعية الدموية. ويعتمد الميل الفعلي على مدى انقباض الأوعية الدموية وانتصاب الشعيرات والمفاهيم السلوكية للحيوان مثل التغيرات المصاحبة للجلوس أو الوقوف. ونجد خلال المنطقة (CD) أن درجة حرارة الجسم ثابتة، بينما لا يوجد عرق أو نهجان، وأن (MHP) تكون عند أقل قيمة لها. ولا يمكن إيجاد (SHL) بدقة؛ نظراً للتغيرات الكثيرة في تمدد وانقباض الأوعية الدموية. وقد تنبسط الأوعية الدموية إلى أقصاها عند ارتفاع درجة حرارة الوسط من (D) إلى (G). وهكذا، فإن التنبؤ على امتداد الخط (BD) يتقاطع مع الخط (DG) على المحور عند درجة حرارة للوسط مساوية لدرجة حرارة جسم الحيوان.

وتكون (EHL) عند أقل قيمة لها عند درجات حرارة منخفضة للوسط، وتحدث من خلال التنفس وانتشار بخار الماء على الجلد. ويجب أن تزداد (MHP) - كما هو موضح من (C) إلى (B) لكي يحافظ الحيوان على درجة حرارة ثابتة للجسم. ونجد أن (MHP) عند درجات حرارة مرتفعة للوسط - تنخفض إلى أقل مستوى مقاس، بينما تزداد (EHL) بسرعة. ولا بد وأن تكون (EHL) متساوية بين (D) و (G) - ولكن عكس (SHL) - وذلك للمحافظة على درجة حرارة ثابتة للجسم. وهكذا، فإن تقاطع (MHP) مع (EHL) يحدث عند درجة حرارة للوسط مساوية لدرجة حرارة الجسم.

ومع أن منطقة الانتظام الحراري الموضحة في الشكل رقم (٢، ٧) تمتد من (B)

إلى (E)، إلا أنه من غير المرجح أن تظل درجة حرارة الجسم ثابتة من (G) إلى (E). ولكي تبقى درجة حرارة الجسم ثابتة داخل هذا المدى، فإنه يتعين على الحيوان أن يتخلص من كل الطاقة الأيضية عن طريق البخر. ويجب أن يتخلص الحيوان بعد نقطة (G) من (MHP) بالإضافة إلى الحرارة المحسوسة المكتسبة لكي يحافظ على درجة حرارة الجسم ثابتة، وإن كان هذا يبدو صعباً مع معظم أجناس الحيوانات.

ويوضح منحني (MHP) التقليدي بعد نقطة E زيادة (MHP). ونرجع هذه الزيادة إلى زيادة الطاقة المطلوبة لعملية اللهث. وقد ترتفع (MHP) بالنسبة للتجارب قصيرة-المدى نتيجة للإجهاد الحراري الواقع على الحيوان، ولكن نجد مع طول الفترة الزمنية أن الحيوان يقلل من كمية الغذاء المتناولة والتي سوف تتضح في صورة انخفاض في (MHP) - المنحني المنقط - بعد نقطة (E) (٣٠).

إن أمثل بيئة حرارية - كما تم تحديده سابقاً - هي التي تُعظم كفاءة الطاقة بناءً على طاقة الغذاء المتداولة والإنتاج القابل للبيع. وليس بالضرورة صحة مقولة أن أمثل بيئة حرارية هي المرادفة لأمثل بيئة تنظيم حراري. وقد أصبحت "النظم التقريبية" بدون شك ضرورية للأخذ في الاعتبار بالنسبة للعديد من الأمثلة المرتبطة بالاقتصاديات وعلم الصحة والعمالة والأمراض وغيره.

انتقال الحرارة المحسوسة (Sensible Heat Transfer)

يتسرب الأيضي الحراري (MHP) من الحيوان بواسطة الفقد الحراري المحسوس (SHL) والفقد الحراري الكامن (EHL)، وذلك كما هو موضح في الشكل رقم (٧، ٢). ويعتمد انتقال الحرارة بالوسائل المحسوسة على خصائص سطح جسم الحيوان والظروف الخاصة بالوسط المحيط - أي درجة الحرارة الجافة وحركة الهواء ودرجات الحرارة للأسطح المحيطة وخصائص الحوائط الداخلية الحرارية. ويمكن تجزئة الحرارة المحسوسة من الحيوان إلى عناصرها المتمثلة في الحرارة المفقودة بالإشعاع والحمل والتوصيل والحرارة المحسوسة المتبادلة مع هواء التنفس - حالة خاصة من انتقال الحرارة بالحمل.

انتقال الحرارة بالإشعاع (Radiant Heat Transfer)

يتم حساب الإشعاع طويل الموجة بين سطح الحيوان والوسط المحيط به باستخدام قانون (Stefan-Boltzmann) لانتقال الحرارة بالإشعاع^(٦٤). ويفرض تربية الحيوان في مبنى بدون شبابيك ذو تهوية ميكانيكية، فإنه يتم إهمال الأشعة قصيرة الموجة.

$$q_{rt} = \frac{A_g (\sigma)(T_s^4 - T_e^4)}{(1/\epsilon_g) + (A_g/A_e)((1/\epsilon_e) - 1)} \quad (٧, ٢)$$

حيث:

- q_{rt} = المعدل الصافي للتبادل الحراري بالإشعاع
- σ = ثابت بولتزمان (٥, ٦٧ × ١٠^{-٨} واط/م^٢.ك^٤)
- A_g = مساحة سطح الحيوان المتعرضة للإشعاع
- A_e = مساحة الأسطح المحيطة بالحيوان
- T_s = درجة الحرارة المطلقة لسطح جسم الحيوان
- T_e = درجة الحرارة المطلقة للأسطح المحيطة بالحيوان
- ϵ_g = معامل الإشعاع لسطح الحيوان
- ϵ_e = معامل الإشعاع للأسطح المحيطة.

وقد تم استنباط المعادلة رقم (٧, ٢) بالنسبة للحالة المبسطة لجسم في حالة اتزان مع وسط محدد جيداً، بينما تكون العملية غاية في التعقيد بالنسبة لمنشأة حيوانات. ويرجع السبب في ذلك إلى تغيرات درجة حرارة سطح الحيوان وعدم تجانس درجات حرارة أسطح الحوائط الداخلية للمبنى، وكذلك إلى التبادل الحراري بالإشعاع مع الحيوانات الأخرى والأجهزة الموجودة داخل المبنى. ويعتمد الإشعاع الحراري من على سطح جسم الحيوان على درجة حرارة الجلد إذا لم يكن مغطى. أما إذا كان سطح جسم الحيوان مغطى سواء بالشعر أو الصوف أو الريش،

فإنه يصعب تقدير درجة حرارة السطح التي يُحسب على أساسها كمية الحرارة المتبادلة بالإشعاع. وتقدر درجة الحرارة في تلك الحالة بمتوسط درجة حرارة كل من جلد الحيوان والشعر أو الريش^(١٤، ١٣). وهكذا، تعتبر عملية تقدير الحرارة الكلية المفقودة بالإشعاع صعبة عن طريق إيجاد توزيعات لدرجات حرارة الأسطح المشعة. ويمكن عملياً استخدام مسعر (Calorimetry) تجزيئي مباشر لإيجاد التبادل الإشعاعي.

انتقال الحرارة بالحمل (Convective Heat Transfer)

يحدث انتقال الحرارة بالحمل من على سطح الحيوان نتيجة مرور تيار من سائل - هواء - سواء كان هذا التيار مدفوعاً أو طبيعياً - حر - وذلك إذا كان هناك فرق في درجة الحرارة بين سطح جسم الحيوان والهواء المار. ويمكن وصف التعبير المستخدم لحساب انتقال الحرارة بالحمل كالآتي:

$$q_{cv} = h A_s (T_s - T_a) \quad (٧، ٣)$$

حيث:

$$q_{cv} = \text{معدل انتقال الحرارة بالحمل}$$

$$h = \text{معامل انتقال الحرارة بالحمل}$$

$$T_a = \text{درجة حرارة الهواء المحيط بالحيوان}$$

$$A_s = \text{المساحة السطحية لجسم الحيوان والتي يحدث معها تبادل حراري.}$$

وتكمن المشكلة في حساب (h)، حيث يعتمد هذا المعامل على العوامل الهندسية لحجم وشكل الحيوان وسرعة الهواء ودرجة الحرارة وخواص الهواء مثل الكثافة واللزوجة ومعامل التوصيل. وأيضاً خصائص السطح الذي يحدث معه التبادل الحراري مثل مدى خشونة سطح الجلد والغطاء سواء كان من الشعر أو الريش. فقد تختلف هذه الخصائص عن ما إذا كانت الأسطح المستخدمة ناعمة ملساء كما في كثير من التطبيقات الهندسية. وبالرغم من وجود كل هذه العوامل المؤثرة على حساب (h)، إلا أن الأسلوب العملي والشائع الاستخدام يكون باتباع

نفس التقريب الهندسي مع المجموعات الرقمية . فيوجد رقم ناسيلت (Nu) الذي يستخدم لحساب (h) في حالة ما إذا كان تيار الحمل طبيعياً أو مدفوعاً . ويكتب هذا الرقم على الصورة التالية :

$$Nu = h(L)/(K) \quad (٧, ٤)$$

حيث :

L = خصائص أبعاد جسم الحيوان (أي أن الارتفاع والقطر وغيره)

K = معامل التوصيل الحراري للهواء .

ويكون رقم ناسيلت في حالة ما إذا كان تيار الحمل طبيعياً دالة في حاصل ضرب كل من رقم براندل (Pr) مع رقم جريشوف (Gr) . ويعتبر رقم براندل ثابتاً في مدى درجات حرارة البيئة المحيطة بالحيوان ، وقد عُبر عنه في المعادلة بقيمة ثابتة ، وعلى ذلك تصبح المعادلة :

$$Nu = A (Gr)^n \quad (٧, ٥)$$

حيث :

A و n = ثوابت تتحدد بالتجربة

Gr = رقم جريشوف

$$g (\beta) (L^3) (\rho^2) (\Delta T) / \nu^2 =$$

g = عجلة الجاذبية

β = معامل التمدد

$$T^{-1} =$$

T = متوسط درجة حرارة كل من سطح الحيوان والهواء

L = خاصية مرتبطة بأبعاد جسم الحيوان

ρ = كثافة الهواء

$$\Delta T = \text{فرق درجة الحرارة بين سطح الحيوان والهواء}$$

$$\nu = \text{اللزوجة الديناميكية للهواء.}$$

ويكون معامل انتقال الحرارة بالحمل المدفوع (h) دالة في نفس المتغيرات المستخدمة في حالة حساب معامل انتقال الحرارة بالحمل الطبيعي باستثناء فرق درجة الحرارة (ΔT). ويعتمد معامل الحمل المدفوع أيضاً على سرعة الهواء، ويتم تعريفه من خلال رقم رينولد (Re) كالآتي :

$$Re = \rho(V)(L)/\nu \quad (V, \rho)$$

حيث :

$$V = \text{سرعة الهواء.}$$

ويكون التعريف الهندسي لرقم ناسيلت بالنسبة للحمل المدفوع عبارة عن حاصل ضرب رقم برانندل مع رقم رينولد. ونظراً لأن رقم برانندل يعتبر ثابتاً بالنسبة لظروف بيئة الحيوان، فإن الشكل النموذجي لانتقال الحرارة بالحمل يصبح :

$$Nu = B Re^m \quad (V, \nu)$$

حيث :

$$B \text{ و } m \text{ ثوابت يتم إيجادها تجريبياً.}$$

ويمكن إيجاد ثوابت المعادلتين رقمي (٦، ٧) و (٧، ٧) من مراجع كثيرة بالنسبة للنظم الهندسية^(١٤) والحالات البيولوجية^(١٧، ١٦، ٢٤). ولكن نظراً لصعوبة تحديد خصائص سطح جسم الحيوان ومنها المساحة السطحية، فإنه يتم قياس معدل انتقال الحرارة بالحمل في أبحاث كثيرة باستخدام الأجهزة المسعرة (الكالوريمترية).

انتقال حرارة التنفس المحسوسة (Respiratory Sensible Heat Transfer)

تعتبر الحرارة المحسوسة المتبادلة مع جهاز التنفس مركبة أخرى من (SHL). فتتولد الحرارة المحسوسة المفقودة مع جهاز التنفس من فرق درجات حرارة الهواء بين عمليتي الشهيق والزفير، والتي يمكن التعبير عنها كالآتي :

$$RSL = \rho(V)(c_p)(T_{ex} - T_a) \quad (V, A)$$

حيث:

RSL = معدل الفقد الحراري المحسوس مع التنفس

V = معدل الهواء المستخدم في التنفس

ρ = متوسط كثافة الهواء

c_p = متوسط الحرارة النوعية للهواء عند ضغط ثابت

T_{ex} = درجة حرارة هواء الزفير

T_a = درجة حرارة هواء الشهيقي (هواء الوسط) .

وتعتبر هذه المركبة صغيرة نسبياً بالنسبة لمعظم حيوانات المزرعة، وذلك بالمقارنة بمركبة الحرارة الكامنة الخارجة مع هواء التنفس .

انتقال الحرارة بالتوصيل (Conduction Heat Transfer)

يتبادل الحيوان الحرارة بالتوصيل إذا حدث اتصال مباشر بين جسم الحيوان مع جسم آخر درجة حرارته أقل أو أعلى من درجة حرارة الحيوان . وتعتمد كمية الحرارة المتبادلة على فرق درجات الحرارة بين سطح التلامس وجسم الحيوان ومساحة التلامس ومعامل التوصيل لسطح التلامس . ويمكن كتابة التعبير المبسط لانتقال الحرارة بالتوصيل على الصورة:

$$q_{cd} = k(A)(T_s - T_x)/X \quad (V, q)$$

حيث:

q_{cd} = معدل انتقال الحرارة بالتوصيل

k = معامل التوصيل الحراري لسطح التلامس

A = مساحة التلامس

$X = \text{سمك سطح التلامس}$

$T_s = \text{درجة حرارة سطح جسم الحيوان}$

$T_x = \text{درجة حرارة سطح التلامس عند عمق (X) من السطح الفاصل بين}$
 $\text{سطح الحيوان وسطح التلامس.}$

وقد يكون معدل انتقال الحرارة بالتوصيل ذا قيمة تذكر فقط عند جلوس الحيوان، وأن مساحة كبيرة نسبياً من جسم الحيوان تتلامس مع سطح التوصيل. ويمكن أن يُغيّر الحيوان سلوكياً من معدل الفقد الحراري بالتوصيل عند الضرورة، وذلك بالوقوف والحركة في الأماكن، حيث معامل التوصيل يكون أقل نتيجةً مثلاً لوجود فرشاة أرضية تعمل كوسط عازل بين سطح الحيوان والأرضية. وقد استخدمت معظم الدراسات أجهزة لقياس معدل سريان الحرارة بالتوصيل من حيوان راقد على الأرضية، وذلك لصعوبة قياس كل من (A) و(T_p) في المعادلة رقم (٩، ٧).

الحرارة المفقودة بالتبخير (Evaporative Heat Loss)

يتضح من الشكل رقم (٢، ٧) أن الحرارة المفقودة بالتبخير لا بد وأن تزداد مع زيادة درجة حرارة الوسط؛ نظراً لانخفاض (SHL). وعامة يوجد ثلاث مسالك بالنسبة لـ (EHL): (أ) الانتشار السليبي لبخار الماء من خلال الجلد، (ب) العرق و(ج) التبادل التبخيري التنفسي.

التبادل الانتشاري (Diffusion Exchange)

يحدث الفقد المائي التبخيري عند سطح الجلد نتيجةً للانتشار السليبي لبخار الماء من خلال طبقة الجلد كما هي الحال في عملية عرق فعالة. ولا تتعرض مركبة الانتشار السليبي للتحكم بواسطة التنظيم الحراري والتي يمكن حسابها بواسطة:

$$EDL = M_m A_s (P_g - P_a) \lambda \quad (١٠، ٧)$$

حيث:

$EDL = \text{معدل الفقد الحراري نتيجة لانتشار بخار الماء من خلال جلد}$

الحيوان

M_m = معامل نفاذية الجلد لبخار الماء، وهودالة في كل من سرعة واتجاه الهواء

وشكل وطبيعة سطح الجلد

A_s = مساحة سطح جسم الحيوان

P_s = الضغط الجزئي المشبع لبخار الماء عند درجة حرارة سطح الجلد T_s

P_a = الضغط الجزئي لبخار الماء عند درجة حرارة الهواء

λ = حرارة التبخير الكلية للماء، وقد وجد أن حرارة التبخير الكلية يمكن

حسابها بواسطة:

$$(٧, ١١) \quad \lambda = \lambda_g - C_w (T_g - T_a)$$

حيث:

λ_g = الحرارة الكامنة لتبخير الماء عند درجة حرارة سطح الجلد، T_g

C_w = الحرارة النوعية لبخار الماء عند ضغط ثابت.

وتمثل مركبة الانتشار جزءاً مهماً من (EHL) فقط عند درجات حرارة منخفضة

للجو، ولكن سرعان ما تتناقص قيمة هذا الجزء عند درجات حرارة مرتفعة للوسط.

العرق (Sweating)

يتوقف معدل بخر العرق أساساً على معدل إفراز بخار الماء من الغدد

العرقية^(١٣). وقد يصبح الجلد جافاً لو كان معدل البخر أكبر من معدل إفراز العرق.

ومن الناحية الأخرى، تتراكم الرطوبة على الجلد وتنساب بدون أي تبريد للجسم إذا كان الانحدار في ضغط البخار غير كافٍ لتبخير كل العرق^(١٣).

وتعتمد كمية الحرارة المفقودة نتيجة انسياب العرق بانتظام (ESL) على معدل

رشح العرق من الغدد وحركة العرق خلال العروق تحت سطح الجلد وتكوّن العرق

كطبقة رقيقة من السائل على سطح الجلد ومعدل بخر السائل من على سطح

الجلد. ولا تحتوي في الغالب حيوانات المزرعة على غدد عرقية بكفاءة غدد الإنسان

العرقية . ولكن ارتبطت عملية البخر في الماشية بعدد الغدد العرقية، في حين أنه لم يلاحظ تكون أي عرق على جلد الطيور .

ويمكن التعبير عن الحرارة المفقودة بالتبخير نتيجة العرق بالعلاقة الآتية ، وذلك بفرض تساوي البخر مع معدل العرق :

$$(٧, ١٢) \quad ESL = S(A_p)(\lambda_p)$$

حيث :

ESL = معدل الفقد الحراري نتيجة لتبخير العرق من على سطح الجلد
 S = معدل العرق بالنسبة لوحدة المساحة من سطح الجلد .

الفقد الحراري التبخيري التنفسي

(Respiratory Evaporative Heat Loss)

يحدث الفقد الحراري التبخيري في عملية التنفس نتيجة لخروج بخار الماء مع هواء التنفس . وتتم هذه العملية أساساً في الجزء العلوي من جهاز التنفس . ويخرج جزء كبير من الحرارة الكلية المفقودة من الحيوان مع الجهاز التنفسي في صورة حرارة كامنة خاصة عند درجة حرارة مرتفعة للوسط . فيصبح الهواء مشبعاً بعد مروره على الأسطح المبللة ليقع التنفس وعند درجة حرارة قريبة من درجة حرارة جسم الحيوان . ويحتوي هواء الزفير على حرارة ورطوبة أعلى من هواء الشهيق طالما أن درجة حرارة الهواء لا تساوي درجة حرارة جسم الحيوان ، وأن الهواء غير مشبع بالرطوبة . ويمكن حساب الحرارة المفقودة بالتبخير - الكامنة - مع التنفس كالآتي :

$$(٧, ١٣) \quad REL = p(V)(W_{ex} - W_a)\lambda_p$$

حيث :

REL = معدل فقد الحرارة بالتبخير مع هواء الزفير

W_{ex} = نسبة رطوبة هواء الزفير

W_a = نسبة رطوبة هواء الشهيق (الهواء الجوي)

λ_g = الحرارة الكامنة لتبخير الماء عند درجة حرارة متوسطة لسطح التنفس .

ويعتبر معدل التنفس للحيوآن عاملاً يمكن التحكم فيه فسيولوجياً على حسب درجة حرارة الوسط المحيط بالحيوآن . فتوجد بعض الحيوآنات - ماشية وغنم ودواجن- التي لها المقدرة على تغيير أسلوب التنفس من تنفس سريع إلى تنفس منخفض (مرحلة أولى) ثم إلى تنفس بطيء وعميق - مرحلة ثانية- وذلك في الأجواء شديدة الحرارة . ويعتبر التغيير في أسلوب التنفس مثلاً لتنظم التحكم في درجة حرارة الجسم ومحاولة لمواجهة المتطلبات اللحظية من ارتفاع (EHL) والتبادل الغازي بدون زيادة قلوية الدم والأنسجة .

تأثيرات درجة الحرارة

(EFFECTS OF TEMPERATURE)

تؤثر درجة حرارة الوسط تأثيراً مباشراً على الحرارة المفقودة من الحيوآنات والدواجن . وتؤثر الحرارة المفقودة من الحيوآنات في المباني المغلقة بدورها على كل من درجة الحرارة ونسبة رطوبة الوسط . وبين الجدولان رقما (١, ٧) و(٢, ٧) بعض القيم الرقمية لكل من الرطوبة المتولدة (MP) والحرارة المحسوسة المفقودة (SHL) لتساعد على التصميم الحراري لوحدة إنتاج مغلقة، وذلك كدالة في كل من جنس ووزن الحيوآن ودرجة حرارة الهواء - حيث يُفترض تساوي كل من درجة حرارة الهواء ومتوسط درجة الحرارة المشعة . وقد تم وضع المدى المفضل لدرجة الحرارة الخاصة بأداء الحيوآن في الأجزاء المرتبطة بالإنتاج وزيادة النسل . وتعرف الحرارة المفقودة بالتبخير (EHL) على أنها حاصل ضرب الرطوبة المتولدة (MP) في الحرارة الكامنة للتبخير .

فوائد الحيوان الحرارية (Animal Heat Losses)

يعتمد كل من حمل التدفئة والرطوبة في مبنى إنتاج حيواني - بالنسبة لأي جنس من الحيوانات - على كل من درجة الحرارة الداخلية المرغوبة ووزن الحيوان. وعامة تنخفض الحرارة المحسوسة المفقودة من الحيوان (SHL) وتزداد الحرارة المفقودة بالتبخير (EHL) مع زيادة درجة حرارة الوسط، وذلك كما هو موضح في الشكل رقم (٧، ٢). و تتناسب كمية الحرارة الكلية المفقودة من الحيوان مباشرة مع وزن الحيوان مرفوع إلى قيمة أسية^(٧٠). وبناءً على ذلك، تنخفض الحرارة الكلية المفقودة بالنسبة لوحدة الأوزان من الحيوان مع زيادة وزن الحيوان. والجدير بالذكر أنه يجب عند النظر إلى البيانات أو العلاقات التي تربط الحرارة المفقودة مع وزن الحيوان عدم التنبؤ بكمية الحرارة المفقودة خارج المدى المحدد، وذلك في حالة التصميم للتهدية عند درجات حرارة خارج ذلك المدى.

وتوضح النتائج المستخلصة على معظم الحيوانات التي تحتفظ بدرجة حرارة ثابتة للجسم بدءاً من الجردان حتى الماشية أن معدل الأيض الحراري مقسوماً على وزن الجسم ومرفوعاً للأس ثلاثة-أربع يكون مستقلاً من حجم الجسم^(٣٥). ويمكن تحديد خصائص معدل الأيض الحراري الأساسي للحيوانات البالغة تحت ظروف قياسية بواسطة:

$$(٧, ١٤)$$

$$MHP = 3.5 (W)^{0.75}$$

حيث:

MHP = معدل الأيض الحراري، واط

W = وزن الحيوان، كجم.

ومجد بالنسبة للأغراض الحسابية لحمل التدفئة والحرارة المكتسبة من الحيوانات النشطة حدوث تزايد جوهري في الحرارة المتولدة من الحيوان عن الحرارة الناتجة من المعادلة رقم (٧، ١٤). وللتقدير الآمن للحرارة المتولدة خلال نسبة خطأ مسموح به، فإنه يمكن الحصول على الحرارة الكلية المكتسبة من الحيوان بضرب ناتج المعادلة رقم (٧، ١٤) في قيمة تتراوح ما بين ٢ و ٣.

وبين الجدولان رقما (٧، ١) و (٧، ٢) الرطوبة المتولدة (MP) والحرارة المحسوسة المفقودة (SHL) والحرارة الكلية (THL) بالنسبة للماشية والدواجن.

جدول (٧، ١). الرطوبة المتولدة (MP) والحرارة المحسوسة المفقودة (SHL) والحرارة الكلية المفقودة (THL) من الماشية.

رقم	THL	SHL	MP	درجة حرارة	الحيوانات
المرجع	واط/كجم	واط/كجم	جم	المبنى، م	
			ماء/كجم. ساعة		
٨٢					الماشية
					بقر حلاب
					(حظيرة)
	٢,٤	١,٩	,٧٧	١-	٥٠٠ كجم
	٢,٢	١,٥	١,٠	١٠	٥٠٠ كجم
	٢,١	١,٢	١,٣	١٥	٥٠٠ كجم
	٢,-	١,١	١,٣	٢١	٥٠٠ كجم
	١,٩	,٦	١,٨	٢٧	٥٠٠ كجم
٨٣					ماشية اللحم
					(حظيرة)
	٢,٨	١,٥	٢,٥	٤	٥٠٠ كجم
٦٠					عجول
					ذكور ايرشاير
					غرفة محكمة
	٢,٩	٢,٥	,٧	٣	٣٩ كجم (٨ أيام)
	٢,٨	٢,٤	,٧	٣	٤٠ كجم (١٤ يوماً)
	٢,٠	٢,٦	,٧	٣	٤٥ كجم (٢٥ يوماً)
	٢,٤	٢,٠	,٧	٢٣	٣٩ كجم (٨ أيام)
	٢,٣	١,٩	,٧	٢٣	٤٠ كجم (١٤ يوماً)
	٢,٤	٢,٠	,٧	٢٣	٤٤ كجم (٢٤ يوماً)

تابع جدول (١, ٧).

رقم المرجع	THL واط / كجم	SHL واط / كجم	MP جم ماء / كجم . ساعة	درجة حرارة المبنى، م	الحيوانات
٩٩					ذكور فريزيان إنجليزي (غرفة محكمة)
	٢,٣	-	-	٢٠	١٧ كجم
٩٩					الجيري سي
	٢,٦	-	-	٢٠	٢٨ كجم (غرفة محكمة)
٩٨					ذكور فريزيان إنجليزي (غرف محكمة)
	(٧,٩)	-	-	٥	من يومين حتى ٨ أسابيع
	(٧,٣)	-	-	١٠	من يومين حتى ٨ أسابيع
	(٧,٣)	-	-	١٥	من يومين حتى ٨ أسابيع
					هيري فورد × ذكور فريزيان (غرف محكمة)
	(٧,٣)	-	-	٥	من يومين حتى ٨ أسابيع
	(٦,٥)	-	-	١٠	من يومين حتى ٨ أسابيع
	(٦,٥)	-	-	١٥	من يومين حتى ٨ أسابيع
٩٧					ذكور فريزيان إنجليزي (غرف محكمة)
	٨,٢	٦,٨	٢,٢	٥	٩٠ - ١٨٠ كجم
	٢,٦	٢,٩	,٧٥	٥	١٠٠ كجم
	٩,٣	٦,٢	٤,٤	١٠	٩٠ - ١٨٠ كجم
	٢,٦	٢	١,٤	١٠	١٠٠ كجم
	٨,٧	٤,٦	٦,٢	١٥	٩٠ - ١٨٠ كجم
	٢,٨	١,٤	٢	١٥	١٠٠ كجم

تابع جدول (٧, ١).

الحيوانات	درجة حرارة المبنى، م	ماء/ كجم . ساعة	MP جم	SHL واط/ كجم	TEHL واط/ كجم	رقم المرجع
٩٠ - ١٨٠ كجم	٢٠	٧,١		٤,٤	٩,١	
١٠٠ كجم	٢٠	٢,٢		١,٤	٢,٩	
A٤						
سويسري بني						
هولستين						
(حظيرة)						
١٦ أسبوعاً	١٠	٢,٠		٢,٣	٣,٧	
٣٢ أسبوعاً	١٠	١,٢		١,٥	٢,٤	
٤٨ أسبوعاً	١٠	١,٠		١,٥	٢,٢	
١٦ أسبوعاً	٢٧	٣,٠		١,٥	٢,٥	
٣٢ أسبوعاً	٢٧	٢,٢		١,١	٢,٦	
٤٨ أسبوعاً	٢٧	١,٩		١,٠	٢,٢	
A٤						
چيرسي						
(حظيرة)						
١٦ أسبوعاً	١٠	٢,٤		٢,٥	٤,١	
٣٢ أسبوعاً	١٠	١,٥		١,٨	٢,٨	
٤٨ أسبوعاً	١٠	١,٣		١,٦	٢,٥	
١٦ أسبوعاً	٢٧	٣,٨		١,٤	٣,٩	
٣٢ أسبوعاً	٢٧	٢,٥		١,٠	٢,٧	
٤٨ أسبوعاً	٢٧	٢,٣		,٨	٢,٣	

تابع جدول (١، ٧).

رقم	THL	SHL	MP	درجة حرارة المبنى، م	الحيوانات
كجم المربع	واط / كجم	واط / كجم	كجم / ساعة		
٨٢					شورت هورن
	٢,٥	١,٤	١,٦	١٠	٢٥ أسبوعاً
	١,٦	١,٠	١,٠	١٠	٥٥ أسبوعاً
	٢,٦	,٧	٢,٨	٢٧	٢٥ أسبوعاً
	١,٧	,٥	١,٨	٢٧	٥٥ أسبوعاً
	٢,٩	٢,٠	١,٣	١٠	خنازير (٦٠ كجم)
	٢,٤	١,٣	١,٧	٢٠	
	٢,٣	,٥	٢,٧	٣٠	
	٢,٥	١,٨	١,١	١٠	٨٠ كجم
	٢,١	١,٢	١,٤	٢٠	
	١,٩	,٥	٢,٢	٢٠	
٧٩					الأغنام
					٦٠ كجم
					طول الصوف
	٢,٦	٢,٤	,٣٢	٨	مجزوز
	١,٧	١,٥	,٤	٢٠	
	١,٣	,٨١	,٧٩	٣٢	
	١,٤	١,٢	,٣٤	٨	٣ سم
	١,٣	,٩٤	,٥٢	٢٠	
	١,٣	,٤٥	١,٣	٣٢	
	١,٣	١,٠	٨	٨	٦ سم
	١,٢	,٦٨	٢٠	٢٠	
		,٢٩	٣٢	٣٢	

جدول (٧،٢). الرطوبة المتولدة (MP) والحرارة المحسوسة المتولدة (SHL) والحرارة الكلية المفقودة (THL) من الدجاج.

الحيوانات	درجة حرارة المبنى، م	ماء/كجم. ساعة	MP جم	SHL واط/كجم	THL واط/كجم المرجع	رقم
دجاج بيّاض						٢٧
لوجهورن						
(غرف محكمة)	٨	٢،١	٤،٥	٥،٨		
	١٢	٢،٨	٤،٠	٥،٩		
	١٨	٢،٩	٣،٩	٥،٨		
	٢٨	٣،٨	٣،٢	٥،٨		
دجاج لاحم						
١، كجم	٢٩	٤	١٢	١٤		٧٦
٧، كجم	٣٠	١٠	٦	١٢		٧٧
	٢٥	٣	٧	٩		٧٦
	١٦	٧	٦	١١		٧٧
١، ١ كجم	٣٠	١٠	٤	١١		٧٨
	١٩	١،٨	٧	٨،٩		٧٦
	١٦	٤،٥	٣،٦	٧،٢		٧٧
١، ٦ كجم	١٩	٢،٠	٥،٧	٧،١		٧٦
٢، ١ كجم	١٩	١،٤	٤،٨	٥،٨		٧٦

المرجع ٧٦ (غرفة محكمة) والمرجع ٧٧ ، ٧٨ بيوت بدون شبابيك

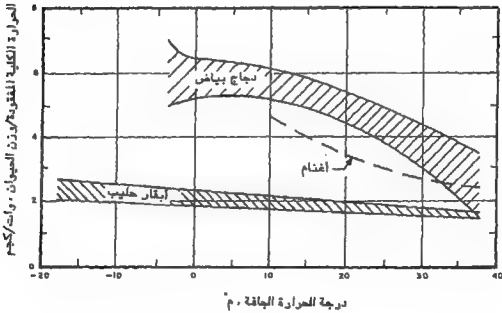
تابع جدول (٧، ٢).

رقم	THL	SHL	MP	درجة حرارة المبنى، م	الحيوانات
واط/كجم المرجع	واط/كجم	جرام ماء/كجم. ساعة			
الدجاج الرومي					
أبيض حجم كبير (غرف محكمة)					
تومس					
٨٥	١٦,٨	٦,١	١٥,٦	٣٥	١, كجم
٨٥	١٢,٩	٦,٣	٩,٨	٣٢	٢, كجم
٨٥	١٠,٢	٥,٤	٧,٢	٢٩	٤, كجم
٨٥	٨,٧	٥,٩	٤,١	٢٧	٦, كجم
٨٥	٧,٩	٦,٣	٢,٤٠	٢٤	١٠, كجم
١٤٢	٢,٢	١,١	١,٧	٢٥	١٥ كجم
أبيض روست (غرف محكمة)					
تومس					
٣٧	٧,٩	—	—	٢١	٢, ٦ كجم (نهاراً)
	٧,٨	—	—	٢١	٣, ٨ كجم (نهاراً)
	٥,٩	—	—	٢١	٣, ١ كجم (ليلاً)
أبيض بلت سفيل (غرف محكمة)					
٨٦					تومس
	٢,٥	٢,٤	١,٦	١٨	٨, ٩ كجم
	٢,١	١,٠	٢,٠	٢٥	

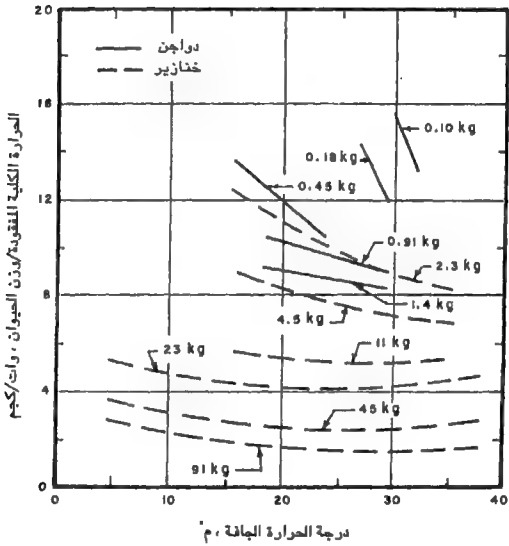
تابع جدول (٧، ٢).

الحيوانات	درجة حرارة المبنى، م	MP جم ماء/ كجم . ساعة	SHL واط/ كجم	THL واط/ كجم المرجع	رقم
دجاج بياض					٨٦
٤, ٤ كجم	١٨	١, ٤	٢, ٤	٢, ٢	
	٢٦	٢, ٨	١, ٠	٢, ٥	
برود برستيد برونز (غرف محكمة)					
تومس					
١٧ كجم	١٠	٠, ٣٥	١, ٩	٢, ١	
	١٥	٠, ٥٣	١, ٧	٢, ٠	
	٢٠	٠, ٦٦	١, ٦	٢, ١	
١٦ كجم	٢٥	٠, ٨٨	١, ٥	٢, ١	
١٧ كجم	٣٠	١, ١	٠, ٨١	١, ٥	
١٦ كجم	٣٥	١, ٥	٠, ٤٤	١, ٤	
دجاج بياض					
٩, ٨ كجم	١٠	٠, ٣١	٢, ١	٢, ٢	
٩, ٥ كجم	١٥	٠, ٧٥	١, ٩	٢, ٤	
٩, ٥ كجم	٢٠	٠, ٧	١, ٦	٢, ٠	
٩, ٣ كجم	٢٥	٠, ٨٣	١, ٥	٢, ١	
٩, ١ كجم	٣٠	١, ٠	١, ٠	١, ٦	
٨, ٧ كجم	٣٥	١, ٣	٠, ٦٤	١, ٤	

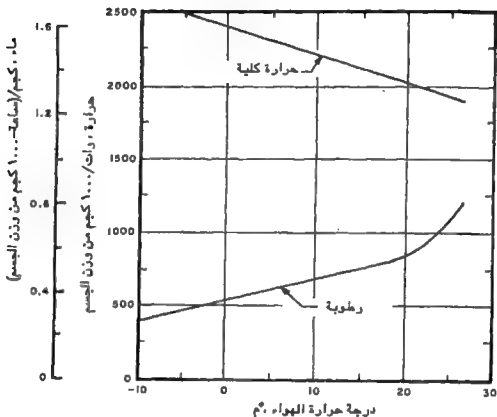
وتوضح الأشكال أرقام (٧, ٣) و (٧, ٤) و (٧, ٥) أيضاً الحرارة الكلية المفقودة لعدة أنواع من الحيوانات كدالة في درجة حرارة الوسط. ونجد بالنسبة للحيوانات التي ليست على مستوى طبيعي من التغذية انخفاض كل من الحرارة والرطوبة المتولدة إلى النصف أو أقل، وذلك على حسب درجة حرارة الوسط ومستوى التغذية. ويحدث الانخفاض في الفوائد الحرارية نتيجة لانخفاض مستوى التغذية مثلاً أثناء شحن الحيوانات أو أثناء استخدام مستوى تغذية منخفض كأداة اقتصادية.



شكل (٧, ٣). الحرارة المفقودة المقارنة لحيوانات ناضجة منتجة (١٤٧)



شكل (٤، ٧). الحرارة المفقودة المقارنة لحيوانات تنمو (١٧)



شكل (٥، ٧). معدلات الحرارة والرطوبة المتولدة في حظيرة مرابطة للماشية الحلابة.

وتحتاج كمية الحرارة المفقودة من الأغنام التي على مستوى تغذية منخفض إلى الضرب في معامل يتراوح ما بين ٤، ١ و ٢، وذلك للحصول على الحرارة المفقودة في حالة التغذية الكاملة^(٨٠). وقد كانت أقل حرارة متولدة من أغنام على مستوى غذائي ٩٠٠ جم من مكعبات التبن المجفف في اليوم ٨١ واط، وذلك بالمقارنة بالقيمة ١١٧ واط أو ٤، ١ مرة في حالة التغذية المرتفعة بمستوى ١٨٠٠ جم في اليوم^(٨١). وقد كان

متوسط الرطوبة المتولدة من أغنام ذات سمك صوف من ٦ إلى ٧ سم على مستوى غذائي قياسي لمدة ١٢ ساعة قبل القياسات المسعّرة وعند درجة حرارة للوسط ٢٥ °م هو ٨, ١ جم ماء/ (ساعة. كجم)^(٥٠). وكانت الرطوبة المتولدة من الأغنام التي على مستوى غذائي منخفض - ولها نفس سمك الصوف - وعند نفس درجة الحرارة والمتنبأ بها من الجدول رقم (١, ٧) هي ١ جم ماء/ (ساعة. كجم) أو تقريباً نصف الرطوبة المتولدة من الأغنام التي على مستوى تغذية قياسي.

ويعتمد جزء كبير من حمل التدفئة للمبنى والخاص بكل من الحرارة المحسوسة والكامنة على طرق التخلص من الفضلات والماء من المبنى. فسوف يؤدي تبخر الماء داخل المبنى إلى خفض المحتوى الحراري المحسوس للهواء وزيادة المحتوى الحراري الكامن (الرطوبة). وسوف يبقى الفقد الحراري الكلي للحيوان ثابتاً دون تغيير. وعامةً سوف يحتوي مبنى عند درجة حرارة أقل من ٢٠ °م مع أرضية صلبة على ١٠٠٪ زيادة في الرطوبة نتيجة للتبخير من الأرضية عن مبنى ذي أرضية مثقبة عند نفس درجة الحرارة^(٨٧). ويمكن أن يساهم تبخر الماء في الأجواء الدافئة في خفض درجة حرارة المبنى، بينما يؤدي ذلك إلى زيادة حمل التدفئة المطلوب في الظروف الجوية الباردة.

ويمكن أن تؤثر الأساليب الإدارية المختلفة على معدل الحرارة المفقودة من الحيوان. فقد تمت دراسة تأثير أوقات إضاءة مبنى دجاج بيّاض على الحرارة المفقودة. وقد أوضحت الأبحاث وجود تغيير طفيف عن متوسط الحرارة المفقودة والموضحة في الجدول رقم (٢, ٧). ولكن يمكن خفض الفقد الحراري تقريباً بنسبة ٢٠٪ أثناء فترة إظلام في نظام ١٤ ساعة إضاءة و ١٠ ساعات إظلام (١٤ ض : ١٠ ظ) ونظام (٢ ض : ٤ ظ : ٨ ض : ١٠ ظ)^(٨٨). وقد وجد أن الحرارة المفقودة أثناء فترة الإظلام كانت أقل بنسبة ٢٥٪ بالنسبة للدجاج الرومي "Wrolstad White"^(٣٨)، وأقل بنسبة ٥ إلى ٤٠٪ بالنسبة لـ "Beltsville white"^(٨٦).

وقد أدت عملية التجميع الأولية للدجاج البيّاض إلى وجود انخفاض حاد في الحرارة المفقودة بالإشعاع والتي قد تؤدي في البداية إلى تعرّض الدجاج لإجهاد حراري في الأجواء الدافئة^(٨٩). وقد وجد الباحثون - بعد تأقلم الدجاج في

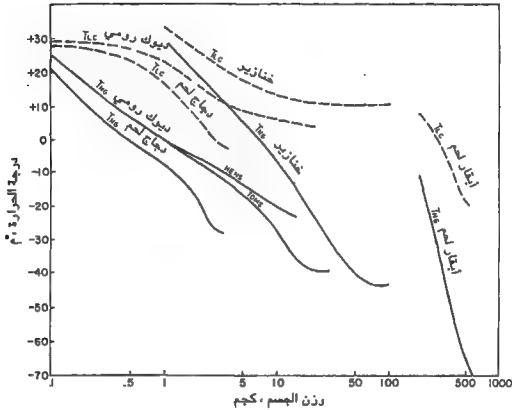
مجموعات- تغيرات طفيفة للحرارة المفقودة عن البيانات المدونة في الجدول رقم (٧، ٢)^(٤٦).

وتتأثر الحرارة المحسوسة المفقودة من الحيوان بدرجة حرارة الأسطح المحيطة مما تسبب تغيرات في الحرارة المفقودة بكل من الإشعاع والحمل والتوصيل. ويمكن أن ترتفع درجة الحرارة داخل مبنى عن ٢٤ م° مسيةً إجهاداً حرارياً، ولكن يكون ذلك لفترات محدودة لا تتجاوز عدة ساعات. وقد وجد أن تعرض الدواجن لتغير دوري في درجات الحرارة في المدى من ١٥ إلى ٢٧ م° لا يؤثر تأثيراً جذرياً على معدلات النمو، ولكن قد يزيد من حمل التدفئة المطلوب.

الإنتاجية (Production)

يعتبر مدى درجات الحرارة - حيث كمية الحرارة المحسوسة المفقودة من الحيوان ثابتة - هي المنطقة الحرارية التي عندها يحدث أقصى كفاءة لتحويل الغذاء إلى لحم (المنطقة بين C و D)، كما في الشكل رقم (٧، ٢). ويستهلك الحيوان غذاء بمعدل أكثر عند درجة حرارة أقل من النقطة C (درجة الحرارة المنخفضة الحرجة)، وذلك للحصول على الطاقة اللازمة للحفاظ على درجة حرارة الجسم ثابتة. وتنخفض عملية تحويل الغذاء إلى لحم تحت درجة الحرارة الحرجة. وتقل كمية الغذاء التي يتناولها الحيوان عند درجة حرارة مرتفعة، وبالتالي ينخفض أيضاً معدل إنتاج اللحم.

لحم (Meat) : تُعرف درجة الحرارة الحرجة على أنها درجة الحرارة التي عندها يزداد معدل الأيض الحراري (MHP)، وذلك للحفاظ على درجة حرارة الجسم ثابتة. وبناءً على ذلك يجب أن لا تنخفض درجة حرارة الوسط المحيط بالحيوان إلى أقل من درجة الحرارة الحرجة، وذلك للحفاظ على كفاءة معدل النمو. وقد تم حساب وتوضيح درجات الحرارة الحرجة لأبقار اللحم والدجاج الرومي والدجاج اللاحم في حالة التغذية الكاملة كما في الشكل رقم (٦، ٧)^(٤٧). وقد تم أيضاً في هذا الشكل التنبؤ بدرجة الحرارة التي عندها يتم استهلاك كل طاقة الغذاء من أجل المحافظة على درجة حرارة الجسم. وتعتبر الحيوانات حديثة الولادة بوجه عام من أكثر الحيوانات



شكل (٦،٧). درجات الحرارة الحرجة (TLC) ودرجات الحرارة التي لا يحدث عندها زيادة في الوزن (TNG) بالنسبة لحيوانات اللحوم .

تأثراً بدرجة حرارة الوسط . فعلى سبيل المثال، تعتبر درجة الحرارة ٢٩°م درجة حرارة حرجة للككتاكيت الرومي، ويليهها درجة الحرارة ٢٨°م للككتاكيت . وتعتبر درجة الحرارة ٢٦°م درجة حرارة حرجة بالنسبة للأغنام المبتلة حديثة الولادة . وتنخفض

هذه الدرجة إلى ١٦°م في حالة جفاف الجسم الخارجي للغنم^(١٠١). وتكون درجة الحرارة للعجل حديث الولادة والذي لا يتجاوز عمره ثلاثة أيام ١٣°م. وتتنخفض هذه الدرجة بمعدل ٢°م عن كل يوم زيادة في العمر حتى تصل إلى ١١°م عند عمر ١٠ أيام؛ و ٨°م عند عمر ٢٠ أسبوعاً؛ و ٦°م عند عمر ٣٠ أسبوعاً^(١٠٢).

وقد وجد أن الكتاكيت التي يتم تربيتها عند درجة حرارة ٣١ أو ٣٥°م خلال الثلاث أسابيع الأولى تنمو بكفاءة أعلى عن نظائرها التي يتم تربيتها عند ٢٧°م. ويتم خفض درجات الحرارة بمعدلات مستظمة كل أسبوع حتى تصل درجة الحرارة إلى ٢٤°م في نهاية الأسبوع الرابع. وقد وجد أن درجة الحرارة الابتدائية في المدى من ٢٧ إلى ٣٥°م لا تؤثر على الوزن المكتسب للدجاج بنهاية الأسبوع الثامن^(١٠٣).

ويوجد لدى الماشية والدواجن درجات حرارة أقل بكثير من الحيوانات حديثة الولادة. ولا يعتبر التحكم في درجة حرارة الوسط في المراحل النهائية من التربية على نفس الدرجة من الأهمية كما في مباني الحيوانات الرضعية والكتاكيت الصغيرة. فعلى سبيل المثال، نجد أن درجة الحرارة الحرجة المنخفضة لختيريزن ٢ كجم ٣٢°م، وتنخفض إلى ١٠°م بالنسبة لختيريزن ٦٠ كجم. ولا يوجد تأثير واضح لدرجة الحرارة الحرجة المنخفضة بالنسبة للأوزان أكبر من ٦٠ كجم. وقد تكون درجة الحرارة الحرجة المحسوبة للأغنام الناضجة ذات سمك صوف ٤٠ مم والتي على نظام تغذية متكامل - ٤٠°م^(١٠٤)، وتقريباً - ٢٠°م بالنسبة لأبقار اللحم^(٣٦) - اعتماداً على مستوى طاقة الغذاء - وصفر°م بالنسبة للدواجن^(٣٦) و ٥°م بالنسبة للدجاج الرومي^(٣٦).

وقد يؤدي خفض مستوى تغذية الحيوان إلى انخفاض كمية الحرارة المفقودة في منطقة الحيات الحراري، وبالتالي ارتفاع درجة الحرارة الحرجة. فعلى سبيل المثال، تتراوح درجة الحرارة الحرجة للأغنام الصائمة من ٩°م إلى ٢٥°م اعتماداً على سمك الصوف بالمقارنة بدرجة الحرارة - ٤٠°م المدونة بالنسبة للأغنام التي عند مستوى كامل من التغذية. وقد تُسبب خطة التغذية تغييراً مقداره ١٠°م في المدى من ٢٠°م إلى ١٠°م بالنسبة لدرجة الحرارة الحرجة لختيريزن ٣٥ كجم. وقد حُسبت درجة الحرارة الحرجة للماشية - ١°م عند مستوى إنتاجي مرتفع و ٧°م عند مستوى تغذية منخفض و ١٨°م في حالة التصويم^(١٠٤).

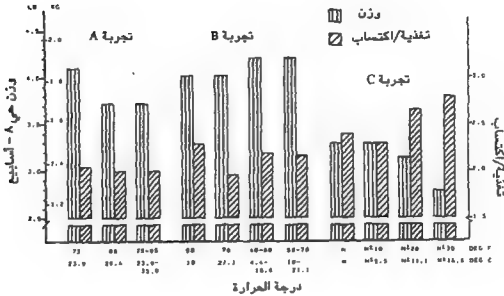
وسوف يؤثر نوع الوسط المادي المتوافر للحيوان على كيفية استجابة الحيوان للوسط الحراري. فنجد أن العجالات التي تُربى في غرف منفصلة لها درجة حرارة حرجة ١٠°م^(٦٠)، ولكن قد تم تربية تلك العجالات بنجاح عند درجات حرارة أقل من ١٠°م^(٧١). وقد وجد أن تجميع الحيوانات في مجموعات قد يؤدي إلى خفض درجة الحرارة الحرجة، كذلك سوف يؤدي منع الحيوان من التكيف مع الوسط الخاص به إلى جعل الوسط الذي يوفره المهندس أكثر حرجاً.

وسوف تسمح التدفئة بواسطة الأشعة تحت الحمراء بخفض درجة حرارة الهواء مع المحافظة على معدل مرتفع من الإنتاج الحيواني عن طريق توفير حمل تدفئة إشعاعي إضافي، وبالتالي منع فقد الحرارة الزائدة. وسوف يتيح استخدام تدفق إشعاعي ٣٦٠ (واط/م^٢) طاقة كافية لخنائير تزن من ١٠ إلى ٢٠ كجم عند درجة حرارة للوسط ٤°م لتنمو بنفس كفاءة الخنائير التي تنمو عند درجة حرارة للوسط ٢١°م بدون تدفئة بواسطة الأشعة تحت الحمراء^(١٤٠).

ويمكن أن تؤثر فرشاة الأرضية أيضاً على مدى استجابة الخنزير للوسط المحيط به. فتأثير الخنائير التي يتم تربيتها في مبنى ذي واجهة مفتوحة بدون فرشاة للأرضية تأثيراً عكسياً بالنسبة للزيادة الوزنية اليومية، وذلك بالمقارنة بالخنائير التي يتم تربيتها في حالة وجود فرشاة للأرضية^(١٤١).

ويتم التحكم في درجات حرارة الوسط المرتفعة باستخدام نظام التهوية الذي يعمل على خفض درجة الحرارة الداخلية عدة درجات أقل من درجة الحرارة الخارجية. ويبدو أن أقصى درجة حرارة مقبولة للإنتاج بالنسبة للحيوانات الناضجة ٢٤°م. ويعتبر استخدام درجة حرارة أعلى من أقل درجة حرارة حرجة من الأساليب الآمنة بالنسبة لحضانة وتدفئة الحيوانات الرضعية.

ويمكن أن تزداد درجة الحرارة القصوى على ٢٤°م لفترات قصيرة؛ نظراً لإمكانية حدوث تعويض للنمو بعد تخطي مرحلة الإجهاد الحراري^(١٥). وقد وجد أن استخدام دورة لدرجة حرارة وسط الخنائير من ١٥°م إلى ٢٧°م سوف تحافظ على كفاءة الإنتاج الحيواني. ويوضح الشكل رقم (٧، ٧) نتائج مماثلة بالنسبة لديوك الدجاج اللحم.



شكل (٧، ٧). تأثيرات درجات الحرارة الثابتة والدورية على النمو وكفاءة تحويل الغذاء للديوك دجاج اللحم. تم تربية فراخ تجارية صغيرة في التجربة A والتجربة B على فرشاة أرضية عند درجات حرارة تدفئة طبيعية لمدة ٣ أسابيع، ثم وضعت الفراخ بعد ذلك على درجة الحرارة الثابتة الموضحة أو على درجة حرارة دورية مغطاة ٢٤ ساعة لمدة ٥ أسابيع. تم أيضًا تربية فراخ غير تجارية على أرضيات شبكية لمدة ٨ أسابيع عند درجات حرارة طبيعية تبدأ من ٣٢ °م، ثم تنخفض بعد ذلك ٣ °م كل أسبوع حتى درجة حرارة نهائية ٢١ °م.

الحليب (Milk) : تكون درجة الحرارة الحرجة المحسوبة بالنسبة للماشية الحلابة في حدود ٢٠ °م وذلك في حالة جفاف الحليب، وتنخفض هذه الدرجة إلى -٤ °م عند إنتاج حليب بمعدل ١٠ (كجم/يوم)، و -١٠ °م عند معدل إنتاج حليب ٢٠ (كجم/يوم) (٢٢٨). وتم تقدير مدى درجة الحرارة المقبول بالنسبة للماشية الحلابة ما

بين ٤ و ٢٤ م°. وينخفض معدل الإنتاج اليومي من الحليب إذا ارتفعت درجة حرارة الوسط إلى مستوى أعلى من ٢٤ م°. وقد تتغير درجات الحرارة سالفة الذكر بعض الشيء بتغير السلالة المستخدمة في التربية.

البويض (Eggs): تقع درجات الحرارة المقبولة لإنتاج البيض في المدى بين ٧ و ٢١ م°^(٩٤). ولكن يجب ملاحظة أن هذا المدى كان بناءً على معدل الإنتاج وليس كفاءة عملية التغذية. وتعتبر درجات حرارة للوسط بين ٢٠ و ٣٠ م° أنسب درجات حرارة للحصول على أعلى كفاءة لإنتاج البيض^(١٠٢).

التناسل (Reproduction)

سوف تكون المعلومات المقدمة في هذا الجزء مقتصرة على الاستجابة التناسلية لكل من أبقار اللحم والماشية الحلابة والأغنام؛ نظراً لأن الاستجابات التناسلية للدواجن مرتبطة بعملية الإنتاج. وتكون عملية التناسل بين ذكور وإناث حيوانات المزرعة حساسة جداً للزيادة بالحمل الحراري البيئي المفروض على الحيوان. وتوجد أبحاث كثيرة تمت فيها دراسة تأثير البيئة الحرارية على التناسل^(١٨٤-١٩٠). وتتغير الظروف الفاسية المفروضة على الحيوانات تغيراً جذرياً، وذلك اعتماداً على كل من درجة حرارة الوسط والرطوبة النسبية وحركة الهواء والإشعاع الحراري وحجم الحيوان ونوع الغطاء الجلدي ومدى التأقلم مع الوسط المحيط به وعوامل أخرى يمكن أن تبدل إما معدل الحرارة المتولدة أو معدل الفقد الحراري.

وقد أوضحت البيانات المرتبطة بنوع السلالة والقطيع تحت نظم تربية وإدارة قياسية كمية المشاكل المفروضة على الحيوان بواسطة الإجهاد الحراري. بينما سجلت التجارب العملية والمتحكم فيها انخفاض كفاءات التناسل. وقد اختلطت التسجيلات الموسمية الخاصة بالماشية الحلابة والأغنام بالنسبة للتأثيرات الناجمة عن تغيرات طول النهار على التناسل.

وقد شاركت التغيرات الموسمية جوهرياً في التأثير على كفاءة التناسل نتيجة للإجهاد الحراري في الأجواء الدافئة، أو نتيجة لتغير طول النهار في مناخات المناطق

الشمالية^(١٩٢، ١٩٣، ١٩٤). وقد أوضحت معظم الدراسات^(١٩٥-١٩٩) انخفاض معدل التناسل في الماشية في الفترة الحارة من العام. وقد وجد⁽¹⁹⁵⁾ Scott في ولاية أريزونا أن كفاءة التناسل تنخفض بمعدل ٢، ١١٪ و ٨، ١٦٪ بالنسبة للجيرسي والهولستين على الترتيب خلال الفترة من مايو إلى أغسطس. وقد وجدت تحسينات - ١٠٠٪ زيادة في عدد البقرات الحوامل - في الصيف، وذلك بتوفير مظلة تبريد صناعي تعمل على خفض الإجهاد الحراري على الحيوانات^(١٩٧، ٢٠٠).

وقد أوضحت تسجيلات عن سلالات الأغنام وجود تأثير موسمي على كفاءة التناسل^(٢٠١، ٢٠٣). بينما يُعزى بقدر كبير انخفاض كفاءة التناسل الموسمية إلى عدد الدورات المضيفة، كما يبدو أيضاً وجود دور مهم لدرجة حرارة الوسط.

وبينما أوضحت دراسات عديدة وجود انخفاضات حادة في أداء التناسل مع درجة حرارة الجو، إلا أنه يمكن طرح بعض الأسئلة الجوهرية كالتالي: (أ) ما هو حجم الإجهاد الحراري الذي يمكن ربطه كمياً بانخفاض كفاءة التناسل؟ (ب) هل هناك فترات حرجية سواء قبل أو أثناء أو بعد الحمل عندما يكون للإجهاد الحراري تأثير واضح على التناسل عن أي فترات أخرى؟ (ج) ماهي الآليات الفسيولوجية المسؤولة عن انخفاض كفاءة التناسل؟ وقد قدم⁽²⁰⁴⁾ Roller and Stombaugh إجابات لتلك الأسئلة، أولاً بالنسبة للأنثى، ثم بعد ذلك بالنسبة للذكر.

أنثى (Female): تتفاعل الأنثى مع الظروف البيئية الحارة والرطوبة عن طريق زيادة درجة حرارة الجسم وزيادة معدل التنفس وخفض كمية الغذاء والسُّبات بما يتناسب مع مدى حدة الوسط الحراري المفروض. وتؤثر تلك البيئات أيضاً على أداء التناسل والذي يبدو أيضاً أنه يتناسب مع حدة الوسط الحراري وفترة التعرض لتلك الظروف.

وقد تم تعريض نعاج الميرينو في إحدى الدراسات^(٢٠٥) إلى إجهاد حراري أثناء الأسبوعين الأولين من الحمل. وقد وجد أن معدلات نفوق الأجنة كانت ٨٣٪ و ٣٣٪ و ١٩٪ عندما ارتفعت درجة حرارة المستقيم إلى: (أ) ١٧، ٦ م° لمدة ٢٤ ساعة أو (ب) ١٧، ٦ م° في النهار- ولكن انخفضت إلى المستوى الطبيعي في الليل- أو (ج) كانت عند المستويات الطبيعية. ولم تتأثر النعاج ذات الصوف المجزوز بشدة مثل

النعاج غير المجزوزة الصوف .

وقد وجد بالنسبة لإناث أبقار اللحم تأثير استجابات التناسل بمدى التأقلم مع الوسط^(٢٠٧) . ولم يحدث للحيوانات المتأقلمة مع الجو البارد أي إثارة جنسية عند تعرضها لإجهاد حراري متوسط (٣٢°م) ، بينما لم تتأثر الحيوانات المتأقلمة على الجو الحار بذلك . ولم يحدث للحيوانات المتأقلمة على الجو الحار أيضاً أي إثارة جنسية عند تعرضها لمستوى مرتفع من الإجهاد الحراري (٣٩°م) .

وبينما يكون فشل التناسل راجعاً إلى ظاهرة " الكل أو لا شيء " بالنسبة لحيوان فردي ، إلا أن درجة الفشل في قطع تتناسب مع حدة الإجهاد الحراري . ونتيجة لذلك ، فإن درجة الملاءمة الحرارية - والتي يمكن أن يتحصل عليها بواسطة خطة تحكم بيئية محددة - يجب أن تزداد بما يتناسب مع أداء التناسل . فعلى سبيل المثال وكقاعدة عامة ، قد يؤدي خفض درجة حرارة الجو من ٤٠ إلى ٣٠°م إلى زيادة كفاءة التناسل تقريباً ضعف مما لو خُفضت درجة الحرارة من ٤٠ إلى ٣٥°م . وبالطبع يمكن تطبيق ذلك فقط على الظروف البيئية التي تفرض إجهاداً حرارياً جوهرياً - الموضحة بزيادة درجات حرارة المستقيم - على الحيوان .

ونظراً لأن التعرض لموجات حرارية معتدلة قد تكون في طبيعتها دورية ، إلا أنه من المهم أيضاً تقدير التأثير الكمي لتلك التعرضات الحرارية الدورية . وقد أوضحت دراسات على النعاج^(٢١٤، ٢١٣، ٢٠٥) - وإن كانت غير نهائية - أن أداء التناسل أثناء درجة إجهاد حراري يكون مماثلاً للأداء عند درجة حرارة ثابتة للوسط ، وتقع في منتصف المسافة بين القيم المتطرفة للدورة - على الأقل في مكان حيث سعة الموجة لا تكون أكبر من ١٠°م .

وقد أوضحت دراسات عن اختبارات الفترات الحرجة للتناسل بالنسبة للأغنام أن زيادة فترة التعرض لموجات حرارية قد تقلل من أداء التناسل^(٢١٧، ٢١٦) ، كما أوضحت أن زيادة فترة التبريد الصناعي للماشية الحلابة قد تنج عنها زيادة في كفاءة التوليد . وغالباً يمكن نسب تلك النتائج إلى زيادة أعداد فترات التناسل الحرجة والتي من خلالها تمتد فترة التعرض للإجهادات .

وقد كُرس جهد يُؤخذ في الاعتبار لإيجاد مُدة - قصيرة، "مفتاح" الفترة الحرجة لإفساد الإجهاد الحراري أثناء عملية التناسل للحيوانات المزرعية. فإذا أمكن فصل فترة قصيرة، فإن طريقة مُدة - قصيرة للتخلص من الإجهاد الحراري قد تكون اقتصادياً جذابة للغاية. وقد أوضح عديد من الباحثين أن الفترة تتبع مباشرة عملية الولادة، ويمكن تصنيفها من هذا المنطلق كفترة حرجة. ولكن، قد أوضح برهان جلبي أنه توجد فترات أخرى عديدة أثناء فترات التناسل يمكن أيضاً أن تلعب دوراً مهماً للغاية لا يمكن إهماله، وذلك إذا تطلب الأمر عمل تحسينات جذرية لزيادة كفاءة التناسل.

ويوجد عدد من الفترات الحرجة عندما يكون تناسل الأنثى يتأثر عكسياً بالإجهاد الحراري. ونتيجةً لذلك، فلا بد - من وجهة النظر الاقتصادية - إعطاء الوسط الحراري بعض الاعتبار في فترة تمتد على الأقل من بداية الدورة التزويجية إلى ما قبل الولادة خلال المخاض.

ولم ترسخ إلى الآن الآليات الفسيولوجية والمسؤولة عن انخفاض كفاءة التناسل في الأنثى، حيث توجد وبدون شك آليات مختلفة متضمنة في أطوار عديدة لدورة التناسل. وتتضمن الآليات الممكنة، ولكن قد لا تكون مقيدة، الآتي:

- ١- تأثير مباشر ناتج من زيادة درجة حرارة الجسم.
- ٢- غير مباشر، التأثير الغذائي الناتج من خفض معدل الغذاء المتناول أثناء الإجهاد الحراري.
- ٣- انخفاض تزويد المواد الغذائية إلى الجنين نتيجة إما لتحويل الدم من جوف الجسم إلى سطح الجلد أو لخفض إنتاج البروتين.
- ٤- تأثيرات كيميائية حيوية مثل تغير الدالة الأيضية أو النشاط الإنزيمي.

ذكر (Male): تمر الأحياء المتزوجة خلال عدد من المراحل أثناء وبعد التشكيل في الاختبارات. وعادة تتطلب تلك العملية عدة أسابيع للاكتمال قبل القذف في ماء التذكير. فعلى سبيل المثال، قد تستمر هذه العملية ٤٠ يوماً^(١١٩)، وقد يكون لعوامل مثل نوعية الغذاء والأمراض والإجهاد الحراري تأثير عكسي على عملية النضج،

والتي يمكن بدورها أن تؤثر على الخصوبة.

وقد قَدِّمَ (Christenson and Roller et al.)⁽²¹⁵⁾ تأثيرات الإجهاد الحراري الحاد على جودة ماء التذكير والخصوبة. فقد بُدِئَ بتجميع ماء ذكورة هُلُوف مرتين -أسبوعياً ولمدة ثلاثة أسابيع قبل التعرض للتقييم المعلمي. وقد استخدم ماء التذكير في عملية تعشير صناعية تبدأ تقريباً أسبوعين قبل التعرض للمعاملة. وقد استخدمت تلك المعلومات كمؤشر لجودة وخصوبة ماء التذكير قبل الإجهاد الحراري. ولم يتم تجميع ماء التذكير أثناء التعرض للحرارة لمدة ٧٢ ساعة، ولكن تم الاستمرار في عملية التجميع مرتين -أسبوعياً بعد المعاملة لمدة حوالي ٧٠ يوماً. وقد تأخر ظهور التأثير الحراري على جودة ماء التذكير، ولكن انخفضت الجودة. وقد ظهر أول دليل للإجهاد الحراري بعد حوالي ١٥ إلى ٢٠ يوماً من المعاملة في صورة انحدار في معدلات حركة الأحياء المنوية وزيادة أعداد الأحياء المنوية الشاذة. وقد استمرت جودة ماء التذكير في الانحدار، وقد ظهر انخفاض مرئي في أعداد الأحياء المنوية والتي ثابرت حتى ٥٠ يوماً بعد المعاملة. وقد بدأ - بناءً على تقييم ماء التذكير - الرجوع التدريجي إلى الحالة الطبيعية بعد حوالي ٥٥ إلى ٦٥ يوماً من المعاملة.

وقد وازى تأثير الإجهاد الحراري على ماء التذكير - كما تم قياسه بواسطة أداء التناسل في التعشير الصناعي - جودة ماء التذكير المقاسة. وقد اعتبر معدل الحمل وبقاء الجنين طبيعياً في كل الحيوانات التي تم تعشيرها بماء تذكير بعد ١٥ يوماً من المعاملة. وقد انخفضت بوضوح نسبة الحيوانات الحوامل نتيجةً للتعشير بماء تذكير بعد ١٦ إلى ٥٧ يوماً من تعريضه إلى إجهاد حراري. وقد كانت نسبة الانخفاض من ٢٠ إلى ٤٠٪. وقد اختفى تأثير الإجهاد الحراري على جودة ماء التذكير بعد حوالي ٦٠ يوماً من المعاملة. وقد أوضح (McNitt et al.)⁽²²⁰⁾ انخفاضات مماثلة في جودة ماء التذكير كنتيجة لتعرض الحيوانات لدرجة حرارة ٤٠°م ولمدة ٧٢ ساعة.

وقد تم الحصول على انخفاضات مماثلة في جودة ماء التذكير الخاصة بكباش ضأن غير مجزوزة الصوف بعد تعرضها لدرجة حرارة جافة ٣٢°م ولمدة أسبوع^(٢٢١). ومع أن حجم ماء التذكير لم ينخفض جلياً، إلا أن حركة الأحياء المنوية ونسبة الخلايا الشاذة وتركيز خلايا ماء التذكير قد تأثرت عكسياً. وقد أصبحت هذه

التأثيرات واضحة في الأسبوع الخامس، ثم تراجعت إلى الحالة الطبيعية في الأسبوعين السابع والثامن التابعين للتعرض للإجهاد الحراري. وقد أوضحت دراسات أخرى^(٢٢٢-٢٢٤) أن الإجهاد الحراري الواقع على الكبش لم يؤثر فقط على القياسات المروية المجهرية لجودة ماء التذكير، ولكن قد أثر أيضاً على الخصوبة في النعجة والشهوة الجنسية عند الكبش تحت ظروف تزاوج حيوانية عملية.

وقد لوحظ وجود انخفاضات في كل من جودة ماء التذكير وأداء التناسل في الماشية^(١٩٩). وعامةً، قد تُسبب زيادة درجة حرارة الخصية انخفاضاً في معدل تكون المنيّ مع ارتفاع لحظي في المحتوى السكري الأولي لماء التذكير، وخفض في حركة الأحياء المنوية وكثافة ماء التذكير وعدّ المنيّ الكلي^(١٩٩، ٢٢٥).

خلاصة أداء التناسل (Summary of Reproductive Performance): من الواضح من هذه النتائج أن إجهاد فترة-قصيرة من الحرارة المرتفعة على الذكور يكون له تأثير محدد على القياسات المروية للمجهرية بالنسبة لجودة ماء التذكير مثلها مثل خصوبة ماء التذكير المستخدم في التعشير الصناعي. ولم تحدث التأثيرات العكسية في وقتها، ولكن كانت واضحة بعد حوالي ٢ إلى ٤ أسابيع من التعرض للإجهاد، مع العودة التدريجية إلى الحالة الطبيعية بعد حوالي ثمانية أسابيع من التعرض للإجهاد. وقد يبدو منطقياً أن التعرضات التكرارية والعشوائية والمتولدة من مستويات مرتفعة من الإجهاد الحراري قد تسبب أن يكون الذكور باستمرار عند مستويات كفاءة إنتاج أقل من المثلى.

ويقترح للحصول على زيادة اقتصادية في كفاءة التناسل إجراء تطوير لبيئة الذكور. ويتم ذلك عن طريق تبريد الوسط المحيط بعدد صغير نسبياً من الذكور. ولم يُبرر اقتصادياً استخدام تطوير تقني مرتفع للوسط الخاص بولادات الإناث، باستثناء عند إنتاج سلالات ماشية عريقة في أجواء دافئة. ولكن، قد يكون من الأرجح استخدام بدائل ذات تكلفة منخفضة مثل المظلات والتبريد الرذاذي والتبريد التبخيري لحماية الإناث من الإجهاد الحراري مع إمكانية تبرير ذلك اقتصادياً.

تأثيرات الرطوبة

(EFFECTS OF HUMIDITY)

يؤثر المحتوى الرطوبي للوسط تأثيراً مباشراً على الحرارة الكامنة المفقودة من الحيوان، كما أن له تأثيره المباشر أيضاً عند درجات حرارة مرتفعة على الحرارة المحسوسة المفقودة من الحيوان. وسوف يؤثر المحتوى الرطوبي أيضاً بطريقة غير مباشرة على أداء الحيوانات، وذلك بالتأثير على جودة الهواء من خلال تراكيز الأتربة والأمراض. ولكن، وُجدت مستندات قليلة تربط العلاقة بين الرطوبة وتركيز الجسيمات الدقيقة أو الأمراض.

الفوائد الحرارية من الحيوان (Animal Heat Losses)

توجد دراسات عديدة عن تأثير الرطوبة على الفقد الحراري بالنسبة لأجناس مختلفة من الحيوانات. فقد وجد أن ارتفاع الرطوبة النسبية من ٤٠ إلى ٩٠٪ بالنسبة للدجاج البياض عند درجة حرارة من ٣٠ إلى ٣٥°م قد أدى إلى انخفاض في الحرارة المفقودة بالتبخير من أجهزة التنفس بمقدار ٧٧٪^(١٠٣). وقد أدى ذلك إلى انخفاض مقدرة الدجاج البياض على تسريب الحرارة الكلية المفقودة بنسبة ١٥٪ عند درجة حرارة ٣٥°م و ٧٪ عند درجة حرارة ٣٠°م. وقد أدت في الحقيقة زيادة الرطوبة النسبية من ٥٥٪ إلى ٨٨٪ عند درجة حرارة ٢٠°م إلى زيادة في الحرارة الكلية المتولدة من الدواجن ٣٪، وملازمة لانخفاض ٢٥٪ في الحرارة المفقودة بالتبخير مع التنفس^(١٠٣). ويتوقع عدم وجود فوائد إنتاجية عند درجة حرارة ٢٠°م راجعة إلى الرطوبة النسبية. وعلى ذلك فإنه يوصى بالمحافظة على رطوبة نسبية لا تزيد على ٦٠٪ في بيوت الدواجن.

وقد نتج عن تأقلم الطائر مع درجة حرارة للجو ٣٥°م - بعدما كانت درجة حرارة ٢٥°م - انخفاض في الفقد الحراري التبخيري في تسعة أيام من ٣,٢ (جم ماء/ ساعة. كجم) إلى ١,٩ (جم ماء/ ساعة. كجم)^(١٠٣) أو بنسبة ١٧٪. وقد نتج أيضاً انخفاض في ١١ أسبوعاً من ٧ (جم ماء/ ساعة. كجم) إلى ٢,٦ (جم

ماء/ ساعة . كجم)^(٤٥) أو بنسبة ٦٦٪ . وتبدؤ قيم الحرارة الكامنة والمدونة في الجدول رقم (٧، ٢) بالنسبة للدجاج اللبَّجَرَنَ الأبيض (٨، ٣ جم ماء/ ساعة . كجم) ذات تقريب جيد للتصميم عند درجات حرارة مرتفعة للجو . ولكن يجب ملاحظة أن حمل الرطوبة قد يتجاوز قِيَم الرطوبة الموجودة في الجدول رقم (٧، ٢) أثناء الإيواء الابتدائي للدجاج البياض .

وقد نتج عن زيادة الرطوبة النسبية من ٥١٪ إلى ٧٦٪ - عند درجة حرارة ٢٥ °م بالنسبة للأغنام ذات سمك صوف من ٦ إلى ٧ سم - انخفاض في الرطوبة المتولدة من ٥، ٢ إلى ٠، ١ (جم ماء/ ساعة . كجم) أو ٦٠٪، وذلك باستخدام قياسات المسعر^(٥٠) . وقد أوضحت نفس التجارب بالنسبة للأغنام المجزوة الصوف انخفاضاً أقل للرطوبة المتولدة من ٦، ٢ إلى ١، ٧ (جم ماء/ ساعة . كجم) عند زيادة الرطوبة النسبية بمقدار ٥٠٪ .

ولم يلاحظ وجود أي فروق معنوية إحصائية تذكر بالنسبة لفقد الحرارة الكلي والفقد الحراري التبخيري بالنسبة للماشية المعرضة لدرجة حرارة جافة ٣٥ °م مع تغيير في الرطوبة النسبية من ٣٢ إلى ٧٢٪^(١١٣)، وإن كانت زيادة الرطوبة قد أدت إلى خفض الحرارة المفقودة بالتبخير بنسبة ١٥٪ . وقد أدى هذا الانخفاض إلى زيادة الحرارة المحسوسة المفقودة بنسبة ٥٠٪ نتيجة لارتفاع درجة حرارة جسم الحيوان .

الإنتاجية (Production)

تؤدي زيادة الرطوبة إلى خفض معدل الإنتاج فقط إذا كانت درجات الحرارة مرتفعة . وعامة يمكن القول إن التغيير في الرطوبة لا يؤثر على نمو الحيوان عند درجات حرارة أقل من ٢٤ °م .

اللحم (Meat) : وجدت دراسة وحيدة تعاملت بشيء من التفصيل مع تأثير الرطوبة على أداء الدجاج اللحم^(١١٣) . ولم تتأثر الديوك من عمر خمسة أسابيع حتى عمر عشرة أسابيع عند درجة حرارة للوسط ٢١ °م بالرطوبة النسبية في المدى من ٤٨٪ إلى ٩٠٪ . وقد أدى تغيير في الرطوبة النسبية من ٤٠٪ إلى ٩٣٪ عند درجة

حرارة للوسط 27°م إلى زيادة مفضلة 2% في الوزن عند نهاية الأسبوع العاشر، مع عدم تغير نسبة تحويل الغذاء. وقد نتج عن زيادة الرطوبة النسبية من 30% إلى 90% عند درجة حرارة للوسط 35°م انخفاض عكسي في الوزن في نهاية الأسبوع العاشر بنسبة 15% وزيادة 13% في كمية الغذاء المطلوبة لكل وحدة زيادة وزنية^(١١٢). وتتوافق تلك النتائج مع الانخفاض في الفقد الحراري المتنبأ به ومقداره 15% ^(١١٣).

ويبدو أن الرطوبات المرتفعة مفضلة بالنسبة للحصول على نمو ونسبة تحويل غذاء أفضل أثناء طور حضانة الدجاج اللحم عند درجة حرارة للوسط $2, 32^{\circ}\text{م}$ ، ثم تُخفض أسبوعياً $7, 2^{\circ}\text{م}$ حتى تصل إلى $3, 18^{\circ}\text{م}$. وعلى ذلك، فلا تؤخذ الرطوبة المرتفعة في الاعتبار عند درجات الحرارة الموصى بها بالنسبة للإيواء الإنتاجي للدجاج اللحم. ولكن يوصى بأن يكون المدى الواجب استخدامه بالنسبة للرطوبة النسبية من 60% إلى 80% أثناء فترة الحضانة، ومن 50% إلى 70% بعد ذلك للنمو^(١١٢).

ويسدو أنه لم تتم دراسة تأثير الرطوبة على نمو الأغنام. ولكن تمت دراسة الاستجابة الفسيولوجية للأغنام بالنسبة لمستويات مختلفة من درجات الحرارة-رطوبة نسبية، والتي تزيد الإدراك بوجود تأثير للرطوبة على الأغنام. وقد لوحظ عدم وجود أي تغير جوهري في درجة حرارة جسم الأغنام عند درجة حرارة للوسط أقل من 38°م . وقد ارتفع معدل التنفس عن الطبيعي عندما تم الحصول على التوليفات التالية من درجة الحرارة-رطوبة نسبية: 29°م و 95% و 32°م و 70% و 35°م و 35% ^(١١٤). وعلى ذلك يمكن اعتبار تلك التوليفات حدوداً قصوى لإنتاج الأغنام. وقد نتج عن زيادة الرطوبة النسبية بالنسبة للماشية من 45% إلى 72% عند درجة حرارة للهواء 35°م زيادة 60% في معدل التنفس من 110 إلى 160 نفس/ دقيقة^(١١٣). ويُفترض بالنسبة للماشية استخدام مؤشر درجة حرارة جافة-رطوبة بحيث يزن 60% لدرجة الحرارة الرطبة و 35% لدرجة الحرارة الجافة^(١١٤).

الحليب (Milk): لم تؤثر التغيرات في رطوبة الهواء عند درجات حرارة للوسط أقل من 25°م على معدلات إنتاج الحليب. وقد أمكن تطوير المعادلة التالية للتنبؤ بالانخفاض في معدل إنتاج حليب أبقار الهولستين كدالة في كل من درجات الحرارة الجافة والرطبة.

$$(V, ١٥) \quad AD = 1.365 + NL(1.937 - 0.07036 T_{db} - 0.10712 T_{wb} \\ + 0.00415 T_{db} T_{wb})$$

حيث:

AD : الانحدار المطلق في إنتاج الحليب، كجم/ (يوم. بقرة)

NL : معدل الإنتاج الطبيعي، كجم/ يوم

T_{db} : درجة حرارة الهواء الجافة، °م

T_{wb} : درجة حرارة الهواء الرطبة، °م .

وقد وُجد أيضاً أن استخدام مؤشر حرارة-رطوبة (THI) - والذي قد طُوِّر للتنبؤ براحة الإنسان^(١٢٠) - كان ملائماً للتنبؤ بفواقد الإنتاج. ويزن مؤشر (THI) بالتساوي كلاً من درجات الحرارة الرطبة والجافة. وقد وُجد أن المعادلة يمكن أن تأخذ الشكل التالي:

$$(V, ١٦) \quad THI = 0.72(T_{db} + T_{wb}) + 40.6$$

وقد كان الانحدار المطلق:

$$(V, ١٧) \quad AD = 1.075 - 1.736 NL + 0.2474 (NL)(THI)$$

البيض (Eggs): تم التنبؤ بتوليفات حدود قصوى من درجة الحرارة-رطوبة بحيث يحدث انخفاض في إنتاج البيض إذا تم تجاوز حدود تلك التوليفات، وذلك بدون الالتفات إلى الاتزان الغذائي. وتكون تلك التوليفات كالتالي: ٢٨ °م - ٧٥٪ أو ٣١ °م - ٥٠٪ أو ٣٣ °م - ٣٠٪. وقد نتج عن خفض نسبة الرطوبة من ٩٥ إلى ٣٥٪ عند درجة حرارة للوسط ٣٥ °م انخفاض في درجة حرارة جسم الطائر^(١٢٢).

تأثيرات سرعة الهواء

(EFFECTS OF AIR VELOCITY)

تعتبر سرعة الهواء من العوامل المؤثرة على معدل الحرارة المحسوسة المفقودة من الحيوان. فتقلل زيادة سرعة الهواء من درجة حرارة الوسط عن درجة حرارة سطح جسم الحيوان، مما يزيد من معدل الفقد الحراري للمحسوس من الحيوان. وتعتبر هذه الزيادة مرغوبة في الصيف، بينما يجب خفضها في الشتاء. وسوف تعمل زيادة سرعة الهواء على زحزحة درجة الحرارة الخارجة إلى مستويات أعلى. ويعتمد مقدار الزيادة في درجة الحرارة الخارجة على مدى كبر سرعة الهواء. وسوف يزداد الحمل الحراري المحسوس والواقع على الحيوان بزيادة سرعة الهواء، وذلك عندما تكون درجة حرارة الهواء أعلى من درجة حرارة سطح جسم الحيوان.

وتؤدي زيادة سرعة الهواء أيضاً إلى زيادة معدل فقد الحرارة الكامنة من الحيوان. وتتوقف كمية الحرارة الكامنة المفقودة من الحيوان على فرق ضغط بخار الماء بين سطح جلد الحيوان والهواء. كما أن زيادة سرعة الهواء داخل المبنى تزيد من تبخر الماء من على الأسطح الداخلية للمبنى، مما يؤدي إلى زيادة تأثير التبريد التبخيري داخل المبنى. ويعتبر التبريد بالتبخير ميزة في الصيف، بينما تؤدي زيادة السرعة إلى زيادة حمل التدفئة في الشتاء.

فوائد الحيوان الحرارية (Animal Heat Losses)

تُسبب زيادة سرعة الهواء من ٠,٢ (م/ث) إلى ٤,٥ (م/ث) في حظيرة ماشية عند درجة حرارة -٧°م زيادة حمل التدفئة الكلي حوالي ٢٥٪. ولكن لوحظ وجود تغير بسيط في حمل التدفئة إذا حدثت الزيادة في سرعة الهواء في مبنى عند درجة حرارة ١٨°م^(٢٢٦). وقد وجد أيضاً تغير بسيط جداً بالنسبة للحرارة المحسوسة والمفقودة عند درجات حرارة للجو أعلى من ١٨°م مع تغير سرعة الهواء من ٠,٢ (م/ث) إلى ٤ (م/ث). وقد تحدثت زيادة حوالي ٤٠٪ في الحرارة المحسوسة المفقودة عند درجات حرارة داخلية في المدى من -٤°م إلى -٩°م.

وقد كانت الحرارة المتولدة من اثنين من الأغنام ذنة كل واحد منهما ٦٠ كجم تعتمد على كل من سرعة الهواء وسماك الصفوف^(١١٣). ولم يتزايد الإنتاج الحراري لحيوان ذي سمك للصفوف من ٤ إلى ٥ سم عند ٥ م إلى أن وصلت سرعة الهواء ٩، ١ (م/ث). وقد زاد الإنتاج الحراري لحيوان ذي سمك صفوف ٢ سم أو أقل على الفور مع زيادة سرعة الهواء؛ نظراً لأن درجة الحرارة الحرجة المنخفضة كانت أعلى، والتي تعني الاحتياج إلى زيادة الإنتاج الحراري للحيوان مع تغير سرعة الهواء. وتأثير الحيوانات الصائمة بمعدل أسرع للتغيرات في سرعة الهواء عند درجات حرارة منخفضة عن الحيوانات التي على نظام تغذية كامل.

الإنتاجية (Production)

تعمل زيادة سرعة الهواء على تكبير المدى من درجات الحرارة المرتفعة، والذي من خلاله يُحافظ الحيوان على مستوى الإنتاج. ولكن قد تؤدي زيادة سرعة الهواء عند درجات حرارة منخفضة إلى حدوث تأثير ضار على الإنتاج.

لحم (Ment) : وجدت مع زيادة سرعة الهواء من ١، ٠ (م/ث) إلى ٢، ٧ (م/ث) زيادة في معدل الوزن المكتسب بالنسبة للدجاج اللاحم، من عمر ثلاثة أسابيع حتى عمر ثمانية أسابيع، والتي تمت تربيتها في وسط حار مع دورة درجة حرارة ٢٤-٢٤ ساعة من ٢١ م حتى ٣٦ م. وقد بدا أن المعدل المكتسب كان دالة على الجندر التريبي لسرعة الهواء. وقد اكتسب الدجاج من ٥٠ إلى ١٠٠ (جم/أسبوع) زيادة أكثر عند التعرض لسرعات هواء مرتفعة عن الدجاج الذي تعرض لسرعة هواء ١، ٠ (م/ث). ولم يلاحظ أي فرق جنس في كفاءة تحويل الغذاء^(١١٤). وقد كان هذا العمل الأساس لدراسة أجريت مؤخراً، والتي أوضحت أن الدجاج عند درجة حرارة ثابتة للوسط ٤٠ م كان قادراً على المحافظة على درجة حرارة ثابتة للجسم، وذلك إذا تم توفير سرعة للهواء ٥، ٢ (م/ث). ولكن وجدت زيادة في الحرارة المتولدة عن الفقد الحراري في وسط حيث سرعة الهواء تتراوح من ١، ٠ إلى ٢، ٠ (م/ث)^(١٢٥). ومن المهم ملاحظة أن زيادة سرعة الهواء عند درجة حرارة للوسط أعلى من ٤٠ م قد تسبب زيادة في الحمل الحراري الواقع على الدجاج^(١١٦).

وقد عانى جنس من فرايرج الهمبشيري الجلدية في ولاية كاليفورنيا من انخفاض معدل الوزن المكتسب ٥٪ عندما ازدادت سرعة الهواء من ٢, ٠ (م/ث) إلى ١, ٠ (م/ث) أو ١, ٥ (م/ث) أو ٢, ٠ (م/ث) في أوساط طبيعية متغيرة مع متوسطات درجات حرارة ١٢°م و ١٩°م و ٢٣°م^(١٢٧). ولم يلاحظ أي تغيير في كفاءة تحويل الغذاء للفرايرج. وقد خلّص الباحثون إلى أنه نظراً لعدم حدوث أي تغيير في معدل الاكتساب عند سرعات من ٢, ٠ (م/ث) إلى ١, ٠ (م/ث) بالنسبة للطيور عند عمر من ٢ إلى ١٠ أسابيع، فإن "تيارات الهواء التي من الطبيعي أن توجد في بيوت حضانة الدواجن ليس لها تأثير جنري على الفرايرج بعد عمر أسبوعين". ولم توجد أبحاث حتى الآن تهتم بدراسة تأثير سرعة الهواء على الفرايرج عند عمر أصغر من أسبوعين.

وقد تحسنت الزيادات الوزنية لماشية اللحم بنسبة من ٢٨٪ إلى ٨٠٪ عند زيادة حركة الهواء من ٣, ٠ (م/ث) إلى ١, ٦ (م/ث) مع متوسط لدرجة حرارة الهواء ٣١°م، وذلك أثناء اختبارات فصلي صيف في الوادي الأمبراطوري بولاية كاليفورنيا^(١٢٨). ولكن لم يلاحظ أي ميزة للماشية عند تزويدها بمظلة في وسط ذي درجة حرارة ٣٢°م، وذلك مع زيادة سرعة الهواء من ١, ٠ (م/ث) حتى ٢, ٤ (م/ث) أو ٢, ٦ (م/ث).

الحليب (Milk) : دُوّنت في دراسة وحيدة^(١٢٩) تأثير سرعة الهواء على أداء الماشية الحلابة. وقد وجد أن زيادة سرعة الهواء من ٢, ٠ (م/ث) إلى ٢, ٢ (م/ث) قد أدت إلى خفض الإجهاد الحراري في وسط ذي درجات حرارة تتراوح من ٢٤°م إلى ٣٥°م.

البَيْض (Eggs) : أوضحت إحدى الدراسات أن زيادة حركة الهواء من ٣, ٢ (م/ث) إلى ٨, ٠ (م/ث) مع درجة حرارة تقع ما بين ٢٦°م و ٣٥°م وعند رطوبة نسبية ٤٠٪ قد أدت إلى منفعة زهيدة في أداء الدجاج البياض من حيث وزن البضعة ومقاومة القشرة للكسر^(١٣٠).

تأثيرات ملوثات الهواء

(EFFECTS OF AIR CONTAMINANTS)

تعتمد أقل معدلات التهوية داخل مباني الإنتاج الحيواني والدواجن أساساً على التخلص من رطوبة الهواء (انظر فصل ٨). ويستخدم بعض المنتجين والمصممين في بعض الأحيان معدلات تهوية أقل من الحد الأدنى، وذلك لتقليل جزء من الطاقة الحرارية المفقودة مع هواء التهوية والتوفير في الوقود المستخدم في التدفئة، وبالتالي تقليل تكلفة الإنتاج. ولكن قد يؤدي خفض معدل التهوية عن الحد الأدنى الموصى به من تركيز ملوثات الهواء داخل المبنى.

والملوثات الهوائية داخل مباني الإنتاج الحيواني عبارة عن غازات وجسيمات المواد والتي تشكل البيئة الكيميائية، وذلك في مقابل البيئة الحرارية^(١٤). وتولد الملوثات الغازية من ثاني أكسيد الكربون (CO_2) وتولد (CO_2) من الحيوانات المجترة والميثان (CH_4) من تحللات فضلات الحيوان. كما يتولد عن التحللات الحبيرية للفضلات غاز الأمونيا (NH_3) وغاز كبريتيد الهيدروجين (H_2S)، وذلك بالإضافة إلى (CH_4) و CO_2 . ويتولد أيضاً الماء (H_2O) من الحيوان ومن الفضلات.

وتوجد غازات تنبعية أخرى تتشكل أثناء تحلل مخلفات الحيوان مثل الأمينات والأميدات والكحوليات والألدهيدات والكيثونيات والمركباتانيدات والديسالفيدات وكبريتيدات الكربونيل والأحماض الدهنية. ونظراً لأن هذه الغازات التنبعية تكون موجودة بكميات صغيرة جداً أو نافهة، فإنهم لا يأخذون في اعتبارهم أنهم يُحدثون طبعياً من إنتاجية حيوانات المزرعة.

وتتكون مواد الجسيمات المتطايرة أساساً من نواتج الفضلات الغذائية ومن على أسطح أجسام الحيوانات والدواجن. وتُقسم الجسيمات التي يزيد حجمها على ميكرون واحد على أنها أثرية، في حين تقسم الجسيمات الأقل من ذلك على أنها أبخرة.

ولا بد عند تقييم جودة الوسط الكيميائي من التعرف على التفاعل بين الإنسان والحيوان بالنسبة للأثرية والأبخرة وكبريتيدات الهيدروجين والأمونيا والميثان وثاني

أكسيد الكربون . ولا بد عند التحكم في جودة الوسط الكيميائي من معرفة معدل تولد تلك الغازات .

ويبدو أن استخدام الحد الأدنى لمعدلات التهوية للتحكم في الرطوبة له تأثير مباشر وضعيف على معدلات نمو ماشية اللحم^(١٥٣) . ويبدو أن العجول الصغيرة على وجه الخصوص تتأثر بالوسط الكيميائي^(١٥١, ١٤٨) . وتتشأثر الدواجن كذلك مع بعض النظم الإدارية سواء بطريقة مباشرة أو غير مباشرة بتركيز الأمونيا^(١٥٨, ١٥٤) وخاصةً عند زيادة التركيز على ٥٠ جزءاً في المليون .

تولد ملوثات الهواء والخواص الطبيعية

(Air Contaminant Production and Physical Properties)

تتوافر معلومات قليلة جداً عن تولد الملوثات في مباني الإنتاج الحيواني والدواجن . ولكن يمكن التنبؤ بالمعلومات من تراكيز الغازات أو الأتربة في الوحدة المغلقة عندما يكون معدل التهوية معلوماً . وتعتبر التغيرات في تركيز الغازات عند مواضع مختلفة داخل المبنى المشكلة الواضحة مع هذه الطريقة .

وقد اتضح أن الغازات لها ميل كبير للانتشار واتباع انساقات الحمل بدلاً من تشكيل انحدار يعتمد على وزن الجزيء^(١٤٤) . وقد وجد الباحثون أن الغازات تتوزع في الحظيرة تقريباً بانتظام عندما تم تزويد قناة الفضلات باستمرار بغازات ثاني أكسيد الكربون والأمونيا وكبريتيد الهيدروجين . وقد وجد في تجربة أخرى أن غاز ثاني أكسيد الكربون الأثقل مرة ونصف من الهواء كان عند تركيز مضاعف عند السقف بالمقارنة بالأرضية ؛ نظراً لأن الهواء الخارج من الحيوان يكون أدفاً من الهواء الجوي ، وبالتالي يرتفع إلى أعلى . وتسبب الأرضية المثقبة وجود تراكيز أعلى لغازات الفضلات داخل الحفرة تحت الأرضية عنه في الحيز فوق الأرضية المثقبة^(١٤٨, ١٤٤) . ولكن يمكن سحب غاز الحفرة إلى حيز الحيوان بواسطة تيارات الحمل الطبيعي والمتولدة من حرارة الحيوان^(١٤٩) .

ثاني أكسيد الكربون (Carbon Dioxide) : يعتبر غاز ثاني أكسيد الكربون من الغازات التي ليس لها رائحة أو لون ، كما أنه أثقل من الهواء بمقدار مرة ونصف . ويرتبط تولد غاز ثاني أكسيد الكربون من الحيوان ارتباطاً مباشراً بكمية الحرارة المتولدة من الحيوان . وعلى ذلك يعتبر إنتاج ثاني أكسيد الكربون دالة على كل من وزن الحيوان ومستوى التغذية والبيئة الحرارية . ويرتبط لتر واحد من غاز ك أم المتولد من حيوان بفقد حراري (أو متولد) بمتوسط ٦, ٢٤ كيلو جول^(١٦٦) . ويمكن التعبير عن ذلك بوحدات واط على أساس أن تولد ٥, ٣ لتر من ك أم في اليوم يعادل واحد واط من الحرارة المتولدة .

وقد تسبب طرق تدفئة الحيوانات في زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون المتولد داخل المبنى . فقد وجد في إحدى الدراسات^(١٦٧) أن تركيز ثاني أكسيد الكربون المتولد من الحيوانات عند استخدام أقل معدل تهوية كان ٨٥٠ جزءاً في المليون ، في حين أن الغازات المتولدة من الدفائيات قد تسببت في إضافة ١٢٤٠ جزءاً في المليون من غاز ثاني أكسيد الكربون . أي أن الدفائيات قد تسببت في زيادة تركيز غاز ك أم بمعدل أعلى مما تسببه الحيوانات نفسها .

الميثان (Methane) : يعتبر غاز الميثان من الغازات الأخف وزناً من الهواء وليس له لون أو رائحة . ويصبح مخلوط من غاز الميثان مع الهواء بنسبة من ٥ إلى ١٥ ٪ بوحدات الحجم مخلوطاً قابلاً للاشتعال .

ويتولد غاز الميثان بنسبة من ٧ إلى ٩ ٪ من كمية غاز ك أم المتولدة، وذلك في حالة التغذية الكاملة للحيوانات . ويقل هذا المعدل مع خفض معدل التغذية حتى يصل إلى الصفر في حالة التصوم^(١٦٨) . ويتولد غاز الميثان أساساً أثناء التغذية ، ويصل إلى أقصى معدل له بعد حوالي ساعة واحدة من التغذية^(١٦٩) . وسوف تنتج بقرة تزن ٥٠٠ كجم - بناءً على البيانات المدونة في الجدول رقم (١, ٧) وعلى كمية ك أم المتولدة والمحسوبة - حوالي ٣٩٢ لتر ميثان/ يوم . وتتوافق تلك القيمة مع القيمة المنشورة (٣٠٠ لتر ميثان/ يوم لكل بقرة)^(١٧٥) .

كبريتيد الهيدروجين (Hydrogen Sulfide) : يعتبر هذا الغاز أثقل من الهواء ولا لون له، كما أن له رائحة تشبه رائحة البيض الفاسد. وقد وجد أن تركيز غاز كبريتيد الهيدروجين كان منخفضاً باستثناء في حظائر الخنازير عندما تثار المخلفات أو تُضخ إلى الخارج. وقد وجد أن تراكيز كبريتيد الهيدروجين في وحدات خنازير مهواة كانت تتغير عند الإثارة حتى تصل إلى تركيز عشرة أجزاء في المليون بالنسبة للعمليات التجارية^(١٦٥). وقد سُجلت تراكيز مرتفعة لكبريتيد الهيدروجين أثناء إثارة المخلفات حتى أنها وصلت إلى ١٠٠٠ جزء في المليون^(١٦٦).

أمونيا (Ammonia) : يعتبر غاز الأمونيا من الغازات ذات الرائحة النفاذة، كما أن ليس له لون. ويعتبر غاز الأمونيا من الغازات الأخف وزناً من الهواء، كما أنه قابل للذوبان في الماء. ولا يزيد تركيز الأمونيا في الهواء في معظم مباني الإنتاج الحيواني ذات التهوية الجيدة على ١٤ جزءاً في المليون^(١٦٧). وقد وجد أن معدل تبخر الأمونيا يتأثر بدرجة الحرارة داخل المبنى. فقد كان تركيز الأمونيا ٤,٣ ملي جم/ لتر هواء عند درجة حرارة ١٣°م، بينما ارتفع التركيز إلى ٩,٨ ملي جم/ لتر عند درجة حرارة ٢٧°م، وذلك عند استعمال معدل تهوية ٣ م^٣/ (دقيقة. بقرة)^(١٦٨).

ويعتبر تركيز غاز الأمونيا في مباني الدواجن غير ثابت ومتغير. فقد كان التركيز في إحدى الدراسات عن الدجاج الرومي حوالي ٥٠ جزءاً في المليون، وقد ارتفع حتى ١١٠ أجزاء في المليون^(١٦٩). وقد تغير التركيز في مبنى دجاج لاحم - عند ٢٤°م ومعدل تهوية ١,١ م^٣/ (ساعة. طائر) - من ١٥ حتى ٩٠ جزءاً في المليون^(١٧٠). وقد انخفض التركيز عند مضاعفة معدل التهوية إلى ٢,٣ م^٣/ (ساعة. طائر) إلى أقل من ٥٠ جزءاً في المليون.

الأتربة (Dust) : أمكن تقسيم الأتربة على أنها الجسيمات المتعلقة بالهواء والأكبر في القطر من ميكرون واحد والأقل من ١٥٠ ميكرونًا. وتعتبر الأبخرة جسيمات أقل في القطر من ميكرون واحد، ولكن سوف نتحدث في هذا الفصل على أنها أتربة. وسوف ترسب جسيمات الأتربة الأكبر من عشرة ميكرونات ولا تنتشر في الهواء، بينما قد تنتشر جسيمات الأتربة الأقل من عشرة ميكرونات في الهواء وتظل عالقة معه. ويكون قطر الايرو دينامي أو الديناميكا الهوائية - والذي يستخدم

لتحديد حجم الجسيم - " القطر الذي يأخذ افتراضياً شكل الكرة بالنسبة لوحدة الكثافة، وله نفس سرعة الترسب النهائية مثل الجسيم الذي يبحث عنه بغض النظر عن حجمه الهندسي وشكله وكثافته الفعلية " (١٨٠).

ويتوقف شكل جسيمات الأتربة على مصدرها. فتأخذ الجسيمات الشكل الأسطواني الطويل بقطر أربعة ميكرونات إذا كانت من الريش المكسور (٨١). وقد يتولد من الجلد جسيمات ذات أقطار في المدى من ١ - ٤٥٠ ميكرون (١٨١).

وتمتص جسيمات الأتربة الغازات والسوائل. وقد تحمل الأتربة فيروسات وبكتريا لكثير من الأمراض. وقد وُجد أن الأتربة هي المحرك الرئيسي لنقل الأمراض (182) (Marek).

وتتوقف كمية الأتربة في الجو على نوع فرشة الحيوان المستخدمة. فيتولد عن الدواجن الموجودة داخل الأقفاص كمية أقل من الأتربة تتراوح من رُبع إلى عُشر (٥٤ مج / طائر. يوم) كمية الأتربة الناتجة فيما لو كانت تربية الدواجن تتم على فرشة أرضية (١٨٣). وقد تراوحت تراكيز الأتربة في مباني الدجاج الرومي في دراسات أخرى من ٠,٧١ إلى ٤٠,٦ (مج/م^٣) مع ٢٥ إلى ٥٠٪ من الجسيمات الأقل من عشرة ميكرونات (١٥٦).

الإنتاجية والصحة (Production and Health)

لايشكل تركيز غاز ك أ، أي مشكلة في بيوت الإنتاج الحيواني سواء بالنسبة للإنسان أو الحيوان. وقد وُجد أن تركيز ك أ، حتى ٣٠٠٠٠ جزء في المليون يعتبر مستوى آمناً بالنسبة للإنسان، مع أن أعلى مستوى يوصى به ١٠٠٠٠ (١٦٧). وتغثل هذه القيم من ١ إلى ١٠ مرات القيم الطبيعية داخل مباني الإنتاج الحيواني.

ويعتبر غاز الميثان خطراً ليس فقط على الصحة، ولكن أيضاً من حيث سرعة الاشتعال. وقد يحدث اختناق عند مستويات مرتفعة من الميثان.

وتعتبر غازات كبريتيدات الهيدروجين والأمونيا من الغازات ذات الاهتمامات الرئيسية. وقد تمت دراسة هذين الغازين كل على حدة ومجتمعين لمعرفة ما إذا كانت

تتولد تأثيرات إضافية أو متداخلة. وقد تمت أيضاً دراسة تأثير الأتربة مجتمعة مع هذه الغازات. وتعتبر الحدود الآمنة التي يوصي بها في الصناعة لكل من كبريتيدات الهيدروجين والأمونيا ١٠ و ٢٥ جزءاً في المليون على الترتيب.

وقد وجد أن حيّز عمل الأفراد في بيئة الحيوانات والدواجن يتأثر عكسياً بالملوثات الغازية. ويتأثر عمال النظافة داخل مباني الإنتاج الحيواني بتركيزات تلك الغازات داخل المبنى. وقد تظهر بعض المشاكل الصحية المرتبطة بالجهاز التنفسي للعاملين بعد مرور ثلاث سنوات من العمل داخل هذه المباني. وقد أجريت دراسة على أحد عشر فرداً من العاملين داخل وحدات حيوانية أوضحت أن ٥٠٪ قد أصيبوا بالسعال وضيق التنفس والزكام^(١٦٥).

وقد تسبب كل من الأمونيا وكبريتيدات الهيدروجين فقداناً للشهية، وبالتالي انخفاض الإنتاجية^(١٦٦). وقد ارتبطت تأثيرات الأمونيا بخفض النضوج الجنسي، وكبريتيدات الهيدروجين بزيادة معدلات الإجهاض^(١٦٦).

الماشية (Cattle)

يوجد تأثير واضح لكل من الأمونيا وكبريتيدات الهيدروجين على العجول الصغيرة التي تتراوح أوزانها من ١٣٥ كجم إلى ٢٤٦ كجم^(١٦٧). ويبدأ تأثير العجول الصغيرة بكبريتيدات الهيدروجين عند تركيز ٢٠ جزءاً في المليون، والأمونيا عند تركيز ٥٠ جزءاً في المليون. فقد لوحظ احتقان عين العجل الصغير عند تعرضه في أيام قليلة لتركيزات من الأمونيا في المدى من ٦٥ إلى ١٥٠ جزءاً في المليون. ويتبع عن تعرض العجول لتركيز ٢٠ جزءاً في المليون من كبريتيدات الهيدروجين تلف في شبكية قرنية العين. وقد نتج أيضاً عن تعرض العجول لتركيز ٢٠ جزءاً في المليون من كبريتيدات الهيدروجين لمدة أسبوع إلى تلف شبكية القرنية. وقد نتج عن تركيز ٢٠ جزءاً في المليون لغاز كبريتيدات الهيدروجين منفرداً وتركيز ٦٥ جزءاً في المليون لغاز الأمونيا منفرداً تولّد تأثير مشترك أدى إلى فقدان الشهية للطعام.

الدواجن (Poultry)

تعتبر الأمونيا والأتربة من أهم عوامل التلوث التي تمت دراستها داخل عنابر الدواجن . وتسبب زيادة تركيز الأمونيا عن ١٠٠ جزء في المليون إلى انخفاض في معدل النمو^(١٥٤, ١٥٨) . وقد نتج عن زيادة تركيز الأمونيا من (صفر - ١٠) أجزاء في المليون مع تركيز للأتربة من (١, ٧-٧, ١٧) مج من الأتربة/ م^٣ إلى حدود قصوى من (٢٠-٣٠) جزءاً في المليون للأمونيا مع (٧, ٢٤-٣, ٣٥) مج من الأتربة/ م^٣ تأثير جوهري في حيّز الدجاج الرومي، ولكن لم يحدث أي تغيير جوهري بالنسبة لكفاءة تحويل الغذاء^(١٧٢) . ولم يتولد أي تفاعل معنوي مع فيروس مرض النيوكاسل عند تعرض الدجاج الرومي لهذا الفيروس تحت ظروف مماثلة ومرتفعة من الأمونيا والأتربة لمدة ستة أيام . وقد أدى تعرض الدجاج الرومي لتركيز ٢٠ جزءاً في المليون من الأمونيا ولفصل دراسي طويل إلى ظهور مشاكل رئوية بعد الأسبوع السادس، وذلك بالمقارنة مع وسط خال من الأمونيا . وقد أصبحت تلك الطيور سريعة التأثير بفيروس مرض النيوكاسل تحت غطاء نابع من التركيز^(١٥٧) .

المراجع

- 1 Smith, C. V. 1974. Farm buildings. In: Heat loss in animals and man. Proc. 20th Easter School in Agric. Sci. Univ. Nottingham, (Eds.) J. L. Monteith and L. E. Mount. 345-365. Butterworth Group. London.
- 2 Carpenter, G. A. 1974. Ventilation of buildings for intensively housed livestock. In: Heat loss in animals and man. Proc. 20th Easter School in Agric. Sci. Univ. Nottingham, (Eds.) J. L. Monteith and L. E. Mount. 389-403. Butterworth Group. London.
- 3 Armstrong, B. 1974. A technique for assessing the economics of environmental control in farm buildings. In: Heat loss in animals and man. Proc. 20th Easter School in Agric. Sci. Univ. Nottingham, (Eds.) J. L. Monteith and L. E. Mount. 405-423. Butterworth Group. London.
- 4 Benzing, T. H. 1969. Heat regulation: Homeostasis of central temperature in man. *Physiol. Rev.* 49(4):671-759.
- 5 Bligh, John. 1972. Neuronal models of mammalian temperature regulation. In: Essays on temperature regulation. (Eds.) J. Bligh and R. Moore. 105-120. North Holland Publ. Amsterdam.
- 6 Bligh, John. 1973. Temperature regulation in mammals and other vertebrates. American Elsevier Publ. New York.
- 7 Cabanac, M. 1975. Temperature regulation. *Ann. Rev. Physiol.* 37:415-439.
- 8 Calder, W. A. and J. A. King. 1974. Thermal and caloric relations of birds. In: Avian biology. (Eds.) D. S. Farner and J. R. King. Vol. 4, 259-413. Academic Press. New York.
- 9 Chaffee, R. R. J. and J. C. Roberts. 1971. Temperature acclimation in birds and mammals. *Ann. Rev. Physiol.* 33:155-202.
- 10 Gale, C. C. 1975. Neuroendocrine aspects of thermoregulation. *Ann. Rev. Physiol.* 35:391-430.
- 11 Fan, L. T., F. T. Hsu and C. L. Hwang. 1971. A review of mathematical models of the human thermal system. *IEEE Trans. Biomedical Engr.* Vol. BME 18(3):218-234.
- 12 Hammel, H. T. 1968. Regulation of internal body temperature. *Ann. Rev. of Physiol.* 30:641-710.
- 13 Richards, S. A. 1973. Temperature regulation. Wykeham Publ. Ltd. London.
- 14 Whitlow, G. C. (Ed.). 1970. Comparative physiology of thermoregulation. Vol. 1, Invertebrates and Non-mammalian vertebrates. Academic Press, New York.
- 15 Brown, A. C. and G. L. Breugelmann. 1970. The interaction of peripheral and central inputs in the temperature regulation system. In: Physiological and behavioural temperature regulation. (Eds.) J. D. Hardy, A. Ph. Guggie and J. A. J. Stolwijk. 684-702. Charles C. Thomas Publ. Springfield.
- 16 Hensel, H. 1973. Neural processes in thermoregulation. *Physiol. Rev.* 53:948-1017.
- 17 Hardy, J. D. 1972. Model of temperature regulation. In: Essays on temperature regulation. (Eds.) J. Bligh and R. Moore. 163-186. American Elsevier Publ. New York.
- 18 Mitchell, D., A. R. Atkins and C. H. Wyndham. 1972. Mathematical and physical models of thermoregulation. In: Essays on temperature regulation. (Eds.) J. Bligh and R. Moore. 37-54. American Elsevier Publ. New York.
- 19 Scott, N. R. 1976. Thermoregulation in poultry. ASAE Paper 76-5011, ASAE, St. Joseph, MI 49085. 38 pp.
- 20 Simon, Eckhart. 1974. Temperature regulation: The spinal cord as a site of extrahypothalamic thermoregulatory functions. *Rev. Physiol. Biochem. Pharmacol.* 71:1-76.
- 21 Brown, W. H. 1976. Thermoregulation in sheep. ASAE Paper 76-5010, ASAE, St. Joseph, MI 49085. 22 pp.
- 22 Stombaugh, D. P. 1976. Thermoregulation in swine. ASAE Paper 76-5009, ASAE, St. Joseph, MI 49085. 27 pp.
- 23 Paine, M. D. 1976. Thermoregulation in beef cattle. ASAE Paper 76-5007, ASAE, St. Joseph, MI 49085. 24 pp.
- 24 Wiersma, Frank. 1976. Thermoregulation in dairy cattle. ASAE Paper 76-5008, ASAE, St. Joseph, MI 49085. 28 pp.
- 25 Stewart, R. E. 1976. Thermoregulation research—perspective and potential. ASAE Paper 76-5006, ASAE, St. Joseph, MI 49085. 11 pp.

- 26 Baldwin, B. A. 1974. Behavioural thermoregulation. In: Heat loss in animals and man. Proc. 20th Easter School in Agric. Sci. Univ. Nottingham. (Eds.) J. L. Monteith and L. E. Mount. 97-117. Butterworth Group. London.
- 27 Carlisle, H. J. and D. L. Ingram. 1973. The effects of heating and cooling the spinal cord and hypothalamus on thermoregulatory behavior in the pig. J. Physiol. (London) 231:353-364.
- 28 Richards, S. A. 1976. Behavioural temperature regulation in the fowl. J. Physiol. (London) 258:1228-1238.
- 29 Horowitz, K. A., N. R. Scott, P. E. Hillman and A. van Tienhoven. 1978. Effects of feathers on instrumental thermoregulatory behavior in chickens. Physiol. Behav. 21(2):233-238.
- 30 Webster, A. J. F. 1974. Heat loss from cattle with particular emphasis on the effects of cold. In: Heat loss in animals and man. Proc. 20th Easter School in Agric. Sci. Univ. Nottingham. (Eds.) J. L. Monteith and L. E. Mount. 205-231. Butterworth Group. London.
- 31 Baile, C. A., J. M. Forbes. 1974. Control of feed intake and regulation of energy balance in ruminants. Physiol. Rev. 54:160.
- 32 Van Kampen, M. 1974. Factors affecting energy expenditure. In: Energy requirements of poultry. Poultry Sci. Symp. #9. 47-60. Br. Poultry Sci., LTD.
- 33 Baumgardt, B. R., L. F. Krobill, J. L. Gobble and P. J. Wangness. 1976. Estimating feed intake for cattle, sheep and swine. In: Proc. First International Symposium Feed Composition, Animal Nutrient Requirements, and Computerization of Diets. (Eds.) P. V. Fomesbeck, L. E. Harris and L. C. Kearn. 464-469. Utah State Univ., Logan, Utah.
- 34 Young, B. A. 1976. Effects of cold environments on nutrient requirements of ruminants. In: Proc. First International Symposium Feed Composition, Animal Nutrient Requirements, and Computerization of Diets. (Eds.) P. V. Fomesbeck, L. E. Harris and L. B. Kearn. 491-496. Utah State Univ., Logan, Utah.
- 35 Killeber, M. 1961. The fire of life. New York, Wiley.
- 36 Teter, N. C. and J. A. DeShazer. 1976. Effects of temperature on nutrient requirements of meat animals. In: Proc. First International Symposium Feed Composition, Animal Nutrient Requirements, and Computerization of Diets. (Eds.) P. V. Fomesbeck, L. E. Harris and L. C. Kearn. 497-501. Utah State Univ., Logan, Utah.
- 37 Ota, H. and E. H. McNally. 1961. Poultry respiration calorimetric studies of laying hens. Bulletin ARS 42-43, U.S. Dept. of Agric.
- 38 Buffington, D. E., K. A. Jordan, W. A. Junnila and L. L. Boyd. 1974. Heat production of active, growing turkeys. TRANSACTIONS of the ASAE 17(3):542-545.
- 39 Romijn, C. and W. Lokhorst. 1961. Some aspects of energy metabolism in birds. 2nd Symposium on Energy and Metabolism. EAAP Publ. No. 10. 49-58.
- 40 O'Neill, S. J. B. and N. Jackson. 1974. Observation on effect of environmental temperature and environment at moult on the heat production and energy requirements of hens and cockerels of a white Leghorn strain. J. Agric. Sci. (Camb.) 82:553-558.
- 41 O'Neill, S. J. B. and N. Jackson. 1974. The heat production of hens and cockerels maintained at an extended period of time at a constant environmental temperature of 23 °C. J. Agric. Sci. (Camb.) 82:549-552.
- 42 Jordan, K. A. and A. C. Dale. 1963. Calorimetric measurement of heat transmission components of chickens. TRANSACTIONS of the ASAE 6(1):11-15.
- 43 Roller, W. L. and A. C. Dale. 1963. Heat losses from Leghorn layers at warm temperatures. TRANSACTIONS of the ASAE 6(2):136-139.
- 44 Walton, H. V. and A. C. Dale. 1963. Radiant, convective, and latent heat loss from mature white Leghorn chickens. TRANSACTIONS of the ASAE 6(1):15-18, 25.
- 45 DeShazer, J. A., K. A. Jordan and C. W. Suggs. 1970. Effect of acclimation on partitioning on heat loss by the laying hen. TRANSACTIONS of the ASAE 13(1):82-84.
- 46 Olson, L. L., J. A. DeShazer and F. B. Nather. 1974. Convective, radiative and evaporative heat losses of white Leghorn layers as affected by bird density per cage. TRANSACTIONS of the ASAE 17(5):960-964, 967.
- 47 Alexander, G. 1974. Heat loss from sheep. In: Heat loss in animals and man. Proc. 20th Easter School in Agric. Sci. Univ. Nottingham. (Eds.) J. L. Monteith and L. E. Mount. 173-203. Butterworth Group. London.
- 48 Blaxter, K. L., N. McC. Graham, F. W. Wainman and D. G. Armstrong. 1959. Environmental temperature, energy metabolism and heat regulation in sheep. II. The partition of heat losses in closely clipped sheep. J. Agric. Sci. (Camb.) 52:24-40.

- 49 Blaxter, K. L., N. McC. Graham and F. W. Wainman. 1959. Environmental temperature, energy metabolism and heat regulation in sheep. III. The metabolism and thermal exchanges of sheep with fleeces. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 52:41-49.
- 50 Brown, W. H. and M. D. Shanklin. 1970. Respiratory fraction of total insensible heat loss from shorn and unshorn sheep. *TRANSACTIONS of the ASAE* 13(4):505-507.
- 51 Graham, N. McC., F. W. Wainman, K. L. Blaxter and D. G. Armstrong. 1959. Environmental temperature, energy metabolism and heat regulation in sheep. I. Energy metabolism in closely clipped sheep. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 52:13-24.
- 52 Butchbaker, A. F. and M. D. Shanklin. 1964. Partitioned heat losses of newborn pigs as affected by air temperature, absolute humidity, age and body weight. *TRANSACTIONS of the ASAE* 7(4):380-383, 387.
- 53 Close, W. H. and L. E. Mount. 1975. The rate of heat loss during fasting in the growing pig. *J. Nutr.* 34:279.
- 54 Ingram, D. L. 1974. Heat loss and its control in pigs. In: *Heat loss from animals and man.* (Eds.) J. L. Monteith and L. E. Mount. 234-254. Butterworth Group. London.
- 55 Kibler, H. H. 1960. Energy metabolism and related thermoregulatory reactions in brown swiss, holstein, and jersey calves during growth at 50 and 80 °F temperatures. *Mo. Agr. Exp. Sta. Res. Bull.* 743. Columbia, Mo.
- 56 Yeck, R. D. 1957. Stable heat and moisture dissipation with beef calves at temperatures of 50 and 80 degrees F. *Mo. Agr. Exp. Sta. Res. Bull.* 645. Columbia, Mo.
- 57 Blaxter, K. L. 1962. *The energy metabolism of ruminants.* Hutchinson Co., Ltd. London.
- 58 Blaxter, K. L. and F. W. Wainman. 1961. Environmental temperature and the energy metabolism and heat emission of steers. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 56:81-90.
- 59 Blaxter, K. L. and F. W. Wainman. 1964. The effect of increased air movements on heat production and emission of steers. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 62:207-214.
- 60 Gonzalez-Jimenez, E. and K. L. Blaxter. 1962. The metabolism and thermal regulation of calves in the first month of life. *British Journal of Nutrition.* 16:199-212.
- 61 Yeck, R. G. and R. E. Stewart. 1959. Ten year summary of psychroenergetic laboratory research. *TRANSACTIONS of the ASAE* 2(1):71-77.
- 62 Mount, L. E. 1974. The concept of thermal neutrality. In: *Heat loss from animals and man. Proc. 20th Easter School in Agric. Sci. Univ. Nottingham.* (Eds.) J. L. Monteith and L. E. Mount. 425-439. Butterworth Group. London.
- 63 McLean, J. A. 1974. Loss of heat by evaporation. In: *Heat loss from animals and man. Proc. 20th Easter School in Agric. Sci. Univ. Nottingham.* (Eds.) J. L. Monteith and L. E. Mount. 19-31. Butterworth Group. London.
- 64 Gebhart, B. 1971. *Heat transfer.* 2nd Ed. McGraw-Hill, New York.
- 65 Cena, K. 1974. Radiative heat loss from animals and man. In: *Heat loss from animals and man. Proc. 20th Easter School in Agric. Sci. Univ. Nottingham.* (Eds.) J. L. Monteith and L. E. Mount. 33-58. Butterworth Group. London.
- 66 Mitchell, D. 1974. Heat transfer from man and other animals. In: *Heat loss from animals and man. Proc. 20th Easter School in Agric. Sci. Univ. Nottingham.* (Eds.) J. L. Monteith and L. E. Mount. 59-76. Butterworth Group. London.
- 67 Monteith, J. L. 1973. *Principles of environmental physics.* Edward Arnold, London.
- 68 Kelly, C., T. E. Bond and W. Garrett. 1964. Heat transfer from swine to a cold slab. *TRANSACTIONS of the ASAE* 7(1):34, 35, 37.
- 69 Wenger, C. B. 1972. Heat of evaporation of sweat: thermodynamic considerations. *J. Appl. Physiol.* 32(4):456-459.
- 70 Esmay, M. L. 1977. *Principles of Animal Environment,* AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut.
- 71 Mitchell, D. C. 1972. Some environmental aspects of calf housing—a review. *Farm Building R & D Studies.* Scottish Farm Building Investigation Univ. January. pp. 3-20.
- 72 Bond, T. E., C. F. Kelly and H. Heltman, Jr. 1959. Hog house air conditioning and ventilation data. *TRANSACTIONS of the ASAE* 2(1):1-4.
- 73 Ota, H., J. A. Whitehead and R. J. Davey. 1975. Heat production of male and female piglets. *J. of Anim. Sci.* 41(1):436.
- 74 Cairnie, A. B. and J. D. Pullar. 1957. The metabolism of the young pig. *J. of Physiol.* 139:15P.

- 75 Harmon, D. J., A. C. Dole and H. W. Jones. 1968. Effect of floor type on required moisture-vapor removal rate from swine finishing houses. *TRANSACTIONS of the ASAE* 11(1):149-152.
- 76 Longhouse, A. D., H. Ota, R. E. Emerson and J. O. Heltzman. 1968. Heat and moisture design data for broiler houses. *TRANSACTIONS of the ASAE* 11(5):694-700.
- 77 Reese, F. N., J. W. Deaton and C. W. Bouchillin. 1969. Heat and moisture production of broilers. Part 1—summer conditions. *Poultry Sci.* 48:1297.
- 78 Deaton, J. W., F. N. Reese and C. W. Bouchillin. Heat and moisture production of broilers. Part 2—winter conditions. *Poultry Sci.* 48:1579.
- 79 Armstrong, D. G., K. L. Blaxter, J. L. Clapperton, N. McC. Graham and F. W. Wainman. 1960. Heat production and heat emission of two breeds of sheep. *J. Agr. Sci.* 55:395-401.
- 80 Graham, N. McC., F. W. Wainman, K. L. Blaxter and D. G. Armstrong. 1959. Environmental temperature, energy metabolism and heat regulation in sheep I. Energy metabolism in closely clipped sheep. *J. Agr. Sci.* 52:13-24.
- 81 Ames, D. R. 1974. Wind-chill factors for cattle and sheep. In: *Livestock environment. Proceedings of the International Livestock Environment Symposium.* SP-0174, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
- 82 Yeck, R. G. and R. F. Stewart. 1959. A ten-year summary of the Psychro-energetic Laboratory dairy cattle research at the University of Missouri. *TRANSACTIONS of the ASAE* 2(1):71-77.
- 83 Hellickson, M. A., H. G. Young and W. B. Witmer. 1974. Ventilation design for closed beef buildings. In: *Livestock environment. Proceedings of the International Livestock Environment Symposium.* SP-0174, ASAE, St. Joseph, MI 49085. pp. 123-129.
- 84 Yeck, R. G. and R. E. Stewart. 1960. Stable heat and moisture description with dairy calves at temperatures of 50 and 80 °F. *Missouri Agricultural Experiment Station Research Bulletin* No. 759.
- 85 DeShazer, J. A., L. L. Olson and F. B. Mather. 1974. Heat losses of large white turkeys—6 to 36 years of age. *Poultry Sci.* 55(6):2047-2054.
- 86 Ota, H. and E. H. McNally. 1961. Heat and moisture production of Beltsville white turkeys. *Poultry Sci.* 40(5):1350.
- 87 Teter, N. C. and J. A. DeShazer. 1976. Animal performance models. *ASAE Paper* No. 76-5013, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
- 88 Riskowski, G. L., J. A. DeShazer and F. B. Mather. 1977. Heat losses of white Leghorn laying hens as affected by intermittent lighting schedules. *TRANSACTIONS of the ASAE* 20(4):727-731.
- 89 DeShazer, J. A. and F. B. Mather. 1975. Heat losses of pullets after initial grouping at different bird densities per cage. *Poultry Sci.* 54:1753.
- 90 Bruce, J. M. and J. J. Clark. 1979. Models of heat production and critical temperature for growing pigs. *Animal Prod.* (in press).
- 91 Mount, L. E. 1960. The influence of huddling and body size on the metabolic rate of the young pig. *J. of Agr. Sci.* 55(1):101-105.
- 92 Alexander, G. 1961. Temperature regulation in the new-born lamb. III. Effect of environmental temperature on metabolic rate, body temperature and respiratory quotient. *Australian Journal of Agricultural Research* 12(6):1152-1174.
- 93 Kleiber, M. 1975. *The fire of life.* Robert E. Krieger Publ. Co. Huntington, New York. pp. 328-332.
- 94 Hahn, G. L. 1976. Shelter engineering for cattle and other domestic animals. In: *Progress of Animal Biometeorology. The Effect of Temperature on Animals* (ed. H. D. Johnson). Progress in Biometeorology. Swets and Zeitlinger, B. V. Amsterdam. pp. 496-503.
- 95 Hahn, G. L., N. F. Meador, G. B. Thompson and M. D. Shanklin. Compensatory growth of beef cattle in hot weather and its role in management decisions. *Livestock Environment. Proceedings of the International Livestock Environment Symposium.* SP-0174, ASAE, St. Joseph, MI 49085. pp. 288-295.
- 96 Bond, T. E., C. F. Kelly and H. Heitman, Jr. 1963. Effect of diurnal temperature upon swine heat loss and well-being. *TRANSACTIONS of the ASAE* 6(2):132-135.
- 97 Webster, A. J. F., J. G. Gordon and J. S. Smith. 1976. Energy exchanges of veal calves in relation to body weight, food intake and air temperature. *Anim. Prod.* 23:35-42.
- 98 Webster, A. J. F. and J. G. Gordon. 1977. Air temperature and heat losses from calves in the first weeks of life. *Anim. Prod.* 24:142.

- 99 Holmes, C. W. and A. W. F. Davey. 1976. The energy metabolism of young Jersey and Friesian calves fed fresh milk. *Anim. Prod.* 23:43-53.
- 100 Harris, G. C., Jr., G. S. Nelson, W. H. Dodgen and R. L. Seay. 1975. The influence of air temperature during brooding on broiler performance. *Poultry Sci.* 54(2):571-577.
- 101 Webster, A. J. F. 1976. Effect of cold on energy metabolism of sheep. In: *Progress in Animal Biometeorology. The effect of Weather and Climate on Animals* (Ed.) H. D. Johnson. Progress in Biometeorology. Swets and Zeitlinger B. V. Amsterdam. pp. 218-226.
- 102 Wilson, W. O. 1976. Effects of temperature on oviposition and egg formation in poultry. In: *Progress in animal biometeorology. The effect of temperature on animals*. (Ed.) H. D. Johnson. Progress in Biometeorology. Swets and Zeitlinger B. V. Amsterdam. pp. 411-416.
- 103 Van Kampen, M. 1976. Evaporative temperature regulation in birds. In: *Progress in animal biometeorology. The effect of temperature on animals*. (Ed.) H. D. Johnson. Progress in Biometeorology. Swets and Zeitlinger B. V. Amsterdam. pp. 158-166.
- 104 Thompson, G. E. 1976. Effects of cold on energy metabolism of cattle. In: *Progress in animal biometeorology. The effect of temperature on animals*. (Ed.) H. D. Johnson. Progress in Biometeorology. Swets and Zeitlinger B. V. Amsterdam. pp. 210-217.
- 105 Johnson, K. G. 1976. Evaporative temperature regulation in sheep. In: *Progress in animal biometeorology. The effect of temperature on animals*. (Ed.) H. D. Johnson. Progress in Biometeorology. Swets and Zeitlinger B. V. Amsterdam. pp. 210-217.
- 106 Morrison, S. R., T. E. Bond and H. Heitman, Jr. 1967. Skin and Lung Moisture Loss from Swine. *TRANSACTIONS of the ASAE* 10(5):691-692, 696.
- 107 Morrison, S. R., T. E. Bond and P. Finn-Kelcey. 1966. The influence of humidity on growth rate and feed utilization of swine. *Int. J. Biometeorology* 10:163-168.
- 108 Morrison, S. R., H. Heitman, Jr. and T. E. Bond. 1969. Effect of humidity on swine at temperatures above optimum. *Int. J. of Biometeor.* 13:135-139.
- 109 Morrison, S. R., T. E. Bond and H. Heitman, Jr. 1968. Effect of humidity on swine at high temperature. *TRANSACTIONS of the ASAE* 11(4):256-258.
- 110 Beckett, F. E. 1965. Effective temperature as a means of evaluating a design hog environment. *TRANSACTIONS of the ASAE* 8(2):163-166.
- 111 Roller, W. L. and R. F. Goldman. 1969. Response of swine to acute heat exposure. *TRANSACTIONS of the ASAE* 12(1):164-169, 174.
- 112 Winn, P. N. and E. F. Godfrey. 1967. The effect of humidity on growth and feed conversion of broiler chickens. *Int. J. Biometeor.* 11(1):39-50.
- 113 McLean, J. A. and D. T. Calvert. 1972. Influence of air humidity on the partition of heat exchanges in cattle. *J. Agric. Sci.* 78(2):303-307.
- 114 Blanca, W. 1962. Relative importance of dry- and wet-bulb temperatures in causing heat stress in cattle. *Nature* 195:251-252.
- 115 Nelson, D. P., C. H. Read, B. J. Barfield, J. N. Walker, V. Hayes and G. Cromwell. 1972. The performance of swine under warm environments. *TRANSACTIONS of the ASAE* 15(1):133-136.
- 116 Hazen, T. E. and D. W. Mangold. 1960. Functional and basic requirements of swine housing. *AGRICULTURAL ENGINEERING* 41(9):585-590.
- 117 Ingram, D. L. 1965. The effect of humidity on temperature regulation and cutaneous water loss in the young pig. *Res. Vet. Sci.* 6(1):9-17.
- 118 Lee, D. H. K. and K. Robinson. 1941. Reactions of the sheep to hot atmosphere. *Proceedings of the Royal Society of Queensland.* 53(12):199-200.
- 119 Berry, J. L., M. D. Shanklin and H. D. Johnson. 1964. Dairy shelter design based on milk production decline as affected by temperature and humidity. *TRANSACTIONS of the ASAE* 7(3):329-331.
- 120 Thom, E. C. 1956. Measuring the need for air conditioning. *Air Conditioning Heating and Ventilation.* 53(8):65-70.
- 121 Payne, C. G. 1967. The influence of environmental temperature on egg production; a review Ch. 2. In: *Environmental control in poultry production*. (Ed.) T. C. Carter. Oliver and Boyd. London.
- 122 Yeats, N. T. M., D. H. K. Lee and H. J. G. Hines. 1941. Reaction of domestic fowls to hot atmosphere. *Proceedings of the Royal Society of Queensland.* 53(7):105-128.
- 123 Bond, T. E., H. Heitman, Jr., and C. F. Kelly. 1965. Effects of increased air velocities on heat and moisture loss and growth of swine. *TRANSACTIONS of the ASAE* 8(2):167-169.

- 124 Drury, L. N. 1966. Air velocity and broiler growth in a diurnally cycled environment. *TRANSACTIONS of the ASAE* 9(3):329-331.
- 125 Siegel, H. S. and L. N. Drury. 1968. Physiological responses of chickens to variations in air temperature and velocity. *Poultry Sci.* 47(4):1120-1127.
- 126 Siegel, H. S. and L. N. Drury. 1968. Physiological responses to high lethal temperature and air velocity in young fowl. *Poultry Sci.* 47(4):1230-1235.
- 127 Wilson, W. O., C. F. Kelly, R. T. Lorenzen and A. E. Woodward. 1957. Effect of wind on growth of fryers after two weeks of age. *Poultry Sci.* 36(5):978-984.
- 128 Bond, T. E., C. F. Kelly and N. R. Ittner. 1957. Cooling beef cattle with fans. *AGRICULTURAL ENGINEERING* 38(5):308-309.
- 129 Garrett, W. N., T. E. Bond and C. F. Kelly. 1960. Effect of air velocity on grains and physiological adjustment of Hereford steers in a high temperature environment. *J. Animal Sci.* 9(1):60-66.
- 130 Brody, S. 1956. Climatic physiology of cattle. *J. Dairy Sci.* 38:715-725.
- 131 Muehling, A. J. and A. H. Jensen. 1961. Environmental studies with early-weaned pigs. *Univ. of Ill. Agr. Exp. Sta. Bul.* 670.
- 132 Sainsbury, D. 1979. *Livestock health and housing.* Bailliere Tindall Pub. London, England.
- 133 Vergel, M. M. and T. E. Hazen. 1972. Air velocity effect on heat produced by growing pigs. *ASAE Paper No. MC-72-301*, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
- 134 Morrison, S. R., R. L. Givens and H. Heitman, Jr. 1976. Effects of air movement on swine at high temperature. *Int. J. Biometeor.* 20(4):337-343.
- 135 Zimmerman, R. A. and D. C. Snetsinger. 1976. Performance and physiological responses of laying chickens housed in controlled climatic environments. *Proceedings of the Southern Regional Avian-Environmental Physiology and Bio-engineering Study Group. 12th Annual Meeting, Atlanta, Georgia.*
- 136 Stephens, D. B. and I. B. Stuart. 1970. The effects of ambient temperature, nature and temperature of floor and radiant heat on the metabolic rate of the new-born pig. *Int. J. Biometeor.* 14(3):275-283.
- 137 Spillman, C. K. and C. N. Hinkle. 1971. Conduction heat transfer from swine to controlled temperature floors. *TRANSACTIONS of the ASAE* 14(2):301-303.
- 138 Restrepo, G., M. D. Shanklin and L. Hahn. 1977. Heat dissipation from growing pigs as a function of floor and ambient temperature. *TRANSACTIONS of the ASAE* 20(1):145-147.
- 139 Bruce, J. M. 1979. Heat loss from animals to floors. *Farm Building Progress* 55:1-4.
- 140 Hinkle, C. N. and H. W. Jones. 1976. Energy balancing with thermal radiation. In: *Livestock environment, Proceedings of the International Livestock Environment Symposium.* SP-0174. ASAE, St. Joseph, MI 49085. pp 274-280.
- 141 Mentzer, J. E., C. N. Hinkle, H. W. Jones, J. E. Kadlec. 1969. A winter comparison of bedded and non-bedded open-front, growing-finishing swine buildings. *TRANSACTIONS of the ASAE* 12(3):389-391, 396.
- 142 Shanklin, M. D., R. K. Malhorta, G. L. Hahn and H. V. Biellier. 1977. Predicted equations for heat losses of mature Broad Breasted Bronze Turkeys. *TRANSACTIONS of the ASAE* 20(1):148-149, 154.
- 143 Joyce, J. P. and K. L. Blaxter. 1964. The effect of air movement, air temperature and infrared radiation on the energy requirements of sheep. *Brit. J. Nutr.* 18:5-27.
- 144 Noren, O., S. Skarp and G. Aniansson. 1967. *Manure gas problem.* Translated by Alfa-Laval, Tumba. Circular No. 20, Swedish Institute of Agr. Engr. (ITI). Ultuna, Uppsala 7 Sweden.
- 145 Baxter, S. H. 1969. The environmental complex in livestock housing—a review. *Farm Building Report, 14.* The Scottish Farm Building Investigation Unit, Aberdeen, U.K.
- 146 Anderson, A. A. 1958. New sampler for the collection, sizing and enumeration of viable airborne particles. *J. of Bact.* 76:471-484.
- 147 *ASHRAE HANDBOOK OF FUNDAMENTALS.* 1981. Am. Soc. of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc. New York, New York.
- 148 Sallivik, K. 1974. Manure gases and their effect on livestock health. In: *Livestock Environment, ASAE, St. Joseph, MI 49085.* pp. 373-377.
- 149 Bruce, J. M. 1975. Air movement through perforated floors. *Farm Buildings Research and Development Studies.* 05:3-10.
- 150 Gordon, W. A. M. 1963. Environmental studies in pig housing III. Ventilation and odour intensity. *Brit. Vet. J.* 119:219-221.

- 151 Anderson, J. F., D. W. Bates and K. A. Jordan. 1978. Medical and engineering factors relating calf health as influenced by the environment. *TRANSACTIONS of the ASAE* 21(6):1169-1174.
- 152 Morrison, S. R., R. L. Givens and H. Heltman, Jr. 1976. A note on growth and food conversion in pigs at different air temperatures and ventilation rates. *Anim. Prod.* 23:249-252.
- 153 Morrison, S. R., G. P. Lofgreen and R. L. Givens. 1976. Effect of ventilation rate of beef cattle performance. *TRANSACTIONS of the ASAE* 19(3):530-532.
- 154 Charles, D. R. and C. G. Payne. 1966. The influence of graded levels of atmospheric ammonia on chickens. I. Effects on respiration and on the performance of broilers and replacement growing stock. *Brit. Poultry Sci.* 7(3):177-187.
- 155 Charles, D. R. and C. G. Payne. 1966. The influence of graded levels of atmospheric ammonia on chickens. II. Effects on the performance of laying hens. *Brit. Poultry Sci.* 7(3):189-198.
- 156 Anderson, D. P., C. W. Beard and R. P. Hanson. 1966. Influence of poultry house dust, ammonia and carbon dioxide on the resistance of chickens to Newcastle Disease. *Avian Diseases* 10(2):177-186.
- 157 Anderson, D. P., C. W. Beard and R. P. Hanson. 1964. The adverse effects of ammonia on chickens including resistance to infection with Newcastle disease virus. *Avian Diseases* 8:369-379.
- 158 Valentine, H. 1964. A study of the effect of different ventilation rates on the ammonia concentrations in the atmosphere of broiler houses. *Brit. Poultry Sci.* 5(2):149-159.
- 159 Anderson, D. P., F. L. Chermis and R. P. Hanson. 1964. Studies on measuring the environment of turkeys raised in confinement. *Poul. Sci.* 43(2):305-318.
- 160 Feddes, J. J. R. and J. B. McQuitty. 1973. Effects of beef housing systems on gaseous contaminants removed by ventilation. *Canadian Agr. Engr.* 15(2):119-123.
- 161 Brody, S. 1945. *Bioenergetics and growth*. Reinhold Publishing Corp. Now published by Hafner Publishing Co., Inc. New York, New York. 1968.
- 162 Barber, E. M. and J. B. McQuitty. 1974. Hydrogen sulfide evolution from anaerobic swine manure. Dept. of Agr. Engr. University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada.
- 163 NIOSH. 1976. Occupational exposure to carbon dioxide. U.S. Department of Health, Education, and Welfare. HEW Publication No. (NIOSH) 76-194. Superintendent of Documents, Washington, D.C.
- 164 Preuschen, G. 1974. Air pollution and human work capacity. In: *Livestock environment symposium SP-0174*, ASAE, St. Joseph, MI 49085. pp. 195-198.
- 165 Donham, K. J., M. Rubino, T. D. Thedell and J. Kammermeyer. 1977. Potential health hazards to agricultural workers in swine confinement buildings. *J. Occupational Med.* 19(6):383-387.
- 166 Nordstrom, G. A. and J. B. McQuitty. 1976. Manure gases in the animal environment. Dept. of Agr. Engr. University of Alberta, Edmonton, Alberta. Research Bulletin 76-1.
- 167 Nordstrom, G. A. and J. B. McQuitty. 1975. Response of calves to atmospheric hydrogen sulfide and ammonia. Paper No. 75-212. Canadian Soc. of Agric. Eng.
- 168 Graham, N. Mc. 1964. Energetic efficiency of fattening sheep. *Aust. J. Agr. Res.* 15:100-112.
- 169 Blaxter, K. L. 1962. *The energy metabolism of ruminants*. Hutchinson Scientific and Technical. London.
- 170 Brannigan, P. G. and J. B. McQuitty. 1972. Concentration temperature relationships of atmospheric gaseous contaminants. *Canadian Agr. Engr.* 14(1):37-41.
- 171 NIOSH. 1977. Occupational exposure to hydrogen sulfide. U.S. Department of Health, Education, and Welfare. HEW Publication no. (NIOSH) 77-158. Superintendents of Documents, Washington, D.C.
- 172 Wolfe, R. R., D. P. Anderson, F. L. Chermis, Jr. and W. E. Roper. 1968. Effect of dust and ammonia air contamination on turkey response. *TRANSACTIONS of the ASAE* 11(4):515-518. 522.
- 173 Quarles, C. L. and H. F. King. 1974. Evaluation of ammonia and infectious bronchitis vaccination stress on broiler performance and carcass quality. *Poultry Sci.* 53(4):1592-1596.

- 174 Bundy, D. S. and T. E. Hazen. 1975. Dust levels in swine confinement systems associated with different feeding methods. *TRANSACTIONS of the ASAE* 18(1):137-139, 144.
- 175 Curtis, S. E., A. H. Jense, J. Simon and D. L. Day. 1974. Effects of aerial ammonia, hydrogen sulfide and swine house dust, alone and combined, on swine health and performance. In: *Livestock Environment*, ASAE, St. Joseph, MI 49085. pp. 209-210.
- 176 Curtis, S. E., J. G. Drummond and J. Simon. 1977. Atmospheric Ammonia Affects Swine Health. *Illinois Research*. 19(4):8-9.
- 177 Doig, P. A. and R. A. Willoughby. 1971. Response of swine to atmospheric ammonia and organic dust. *J. Amer. Vet. Med. Assoc.* 159(11):1353-1361.
- 178 Stombaugh, D. P., H. S. Teague and W. L. Roller. 1969. Effects of atmospheric ammonia on the pig. *J. Anim. Sci.* 28:844-847.
- 179 Verstegen, M. W. A., W. Van Der Hell, A. A. Jongebreur and G. Enneman. 1976. The influence of ammonia and humidity on activity and energy balance data in groups of pigs. *Z Tierphysiol Tierernähr Futtermittelkd.* 37(5):255-263.
- 180 Honey, H. F. and J. B. McQuilty. 1976. Dust in the animal environment. Department of Agricultural Engineering, The University of Alberta, Edmonton, Alberta. *Research Bulletin* 76-2.
- 181 Koon, J., J. R. Howes, W. Grub and C. A. Rollo. 1963. Poultry dust: origin and composition. *AGRICULTURAL ENGINEERING* 44(11):608-609.
- 182 Little, R. J. 1970. Air pollutants affecting the performance of domestic animals; a literature review. *Agricultural Research Service, United States Dept. of Agric., Washington, D.C.* pp. 34-40.
- 183 Grubb, W., C. A. Rollo and J. R. Howes. 1965. Dust problems in poultry environments. *TRANSACTIONS of the ASAE* 8(5):338-339.
- 184 Biana, W. 1965. Cattle in a hot environment. *J. Dairy Res.* 32:291-345.
- 185 Hafez, E. S. E. 1959. Reproductive capacity of farm animals in relation to climate and nutrition. *J. Amer. Vet. Med. Assoc.* 135:606-614.
- 186 Meyer, V. M. and L. Van Fossen. 1971. Effects of Environment on Pork Production. *Iowa State University. AE 1063. Ames, Iowa*, pp. 94.
- 187 Shelton, M., J. T. Morrow and O. C. Butler. 1966. Reproductive efficiency of fine-wool sheep. *Texas A&M Univ., Texas Agr. Exp. Sta.* May.
- 188 Teague, H. S. 1970. Effect of temperature and humidity on reproduction. 21-26. In *Symposium Proceedings. Effect of Disease and Stress on Reproductive Efficiency in Swine*. Univ. of Nebraska, College of Agriculture, Nov.
- 189 Ulberg, L. C. 1958. The influence of high temperature on reproduction. *J. Hered.* 49:62-64.
- 190 Venter, H. A. W., J. C. Bonsma and J. D. Skinner. 1973. The influence of climate on the reproduction of cattle. *Int. J. Biometeor.* 17:147-151.
- 191 Corteel, J. M., J. P. Signoret and F. Du Mesnil du Buisson. 1964. Variations saisonnières de la reproduction de la truie et facteurs favorisant l'axe temporel. *Fifth Congr. Int'l. Reprod. Animal Insens. Artif.* 536.
- 192 Erb, R. E. and D. R. Waldo. 1952. Seasonal changes in fertility of dairy bulls in northwestern Washington. *J. Dairy Sci.* 35:245-249.
- 193 Mercier, E. and G. W. Salisbury. 1947. Seasonal variations in hours of daylight associated with fertility level of cattle under natural breeding conditions. *J. Dairy Sci.* 30:747-756.
- 194 Mercier, E. and G. W. Salisbury. 1947. Fertility level in artificial breeding associated with season, hours of daylight and the age of cattle. *J. Dairy Sci.* 30:817-825.
- 195 Stott, G. H. 1961. Female and breed associated with seasonal fertility variation in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 44:1698-1704.
- 196 Stott, G. H. and J. R. Williams. 1962. Causes of low breeding efficiency in dairy cattle associated with seasonal high temperatures. *J. Dairy Sci.* 45:1369-1375.
- 197 Wiersma, F. and G. H. Stott. 1966. Microclimate modification for hot-weather stress relief of dairy cattle. *TRANSACTIONS of the ASAE* 9(3):309-313.
- 198 Ingraham, R. H. 1973. Estimation of conception rate of Holstein cows due to adverse temperature and humidity in tropical and subtropical climates. *Int. J. Biometeor.* 17:131-134.
- 199 Igboeli, G. and A. M. Rakha. 1971. Seasonal changes in the ejaculate characteristics of Angoni (short horn Zebu) bulls. *J. Anim. Sci.* 33:651-654.

- 200 Wiersma, F. and G. H. Stott. 1969. New concepts in the physiology of heat stress in dairy cattle of interest to engineers. *TRANSACTIONS of the ASAE* 12(1):130-132.
- 201 Shelton, M. 1964. Relation of birth weight to death losses and to certain productive characters of fall-born lambs. *J. Anim. Sci.* 23:355-359.
- 202 Shelton, M. 1964. Relation of environmental temperature during gestation to birth weight and mortality in lambs. *J. Anim. Sci.* 23:360-364.
- 203 Shelton, M. and J. T. Morrow. 1965. Effects of season on reproduction of Rambouillet ewes. *J. Anim. Sci.* 24:795-799.
- 204 Roller, W. L. and D. P. Stombaugh. 1974. The influence of environmental factors on reproduction of livestock. *Proc. of Int'l. Livestock Environment Symposium. Special Publication SP-0174. ASAE, St. Joseph, MI 49085. pp. 31-50.*
- 205 Thwaites, C. J. 1969. Embryo mortality in the heat-stresses ewe. II. Applications of hot-room results to field conditions. *J. Reprod. Fertility.* 19:255-262.
- 206 Dutt, R. H., E. F. Ellington and W. W. Carlton. 1959. Fertilization rate and early embryo survival in sheared and unshorn ewes following exposure to elevated air temperatures. *J. Anim. Sci.* 18:1308.
- 207 Bond, J. and R. E. McDowell. 1972. Reproductive performance and physiological response of beef females as affected by a prolonged high temperature. *J. Anim. Sci.* 35:820-829.
- 208 Teague, H. S., W. L. Roller and A. P. Grifo, Jr. 1968. Influence of high temperature and humidity on the reproductive performance of swine. *J. Anim. Sci.* 27:408-411.
- 209 Edwards, R. L., I. T. Omtvedt, E. J. Turman, D. F. Stephens and G. W. A. Mahoney. 1968. Reproductive performance of gilts following heat stress prior to breeding and in early gestation. *J. Anim. Sci.* 27:1634-1637.
- 210 Omtvedt, I. T., R. E. Nelson, R. L. Edwards, D. F. Stephens and E. J. Turman. 1968. Influence of heat stress during early, mid and late pregnancy of gilts. *J. Anim. Sci.* 27:312-317.
- 211 Tompkins, E. C., C. J. Heidenreich and M. Stob. 1967. Effects of postbreeding thermal stress on embryonic mortality in swine. *J. Anim. Sci.* 26:377-380.
- 212 Warnick, A. C., H. D. Wallace, A. Z. Palmer, E. Sosa, D. J. Durcree and V. E. Caldwell. 1965. Effect of temperature on early embryo survival in gilts. *J. Anim. Sci.* 24:89-92.
- 213 Shelton, M., and J. E. Huston. 1958. Effects of high temperature stress on certain aspects of reproduction in the ewe. *J. Anim. Sci.* 17:153-158.
- 214 Rich, T. D. and C. W. Allston. 1970. Influence of programmed circadian temperature changes on the reproductive performance of ewes. *J. Anim. Sci.* 30:966-969.
- 215 Roller, W. L., H. S. Teague, R. K. Christenson and A. P. Grifo, Jr. 1973. Effect of ambient heat exposure upon swine reproduction. *ASAE Paper No. 73-416, ASAE, St. Joseph, MI 49085.*
- 216 Dutt, R. H. 1963. Critical period for early embryo mortality in ewes exposed to high ambient temperature. *J. Anim. Sci.* 22:713-719.
- 217 Dutt, R. H. 1964. Detrimental effects of high ambient temperature on fertility and early embryo survival in sheep. *Int. J. Biometeor.* 8:47-56.
- 218 D'Arce, R. D., H. S. Teague, W. L. Roller, A. P. Grifo, Jr. and W. M. Palmer. 1970. Effect of short-term elevated dry-bulb and dew-point temperature on the cycling gilt. *J. Anim. Sci.* 30:374-377.
- 219 Christenson, R. K., H. S. Teague, A. P. Grifo, Jr. and W. L. Roller. 1972. The effect of high environmental temperature on the boar. *Ohio Swine Research and Information Report—1972. Research Summary #61, Ohio Agricultural Research and Development Center. Wooster, Ohio. 19-23.*
- 220 McNitt, J. I. and N. L. First. 1970. Effects of 72-hour heat stress on semen quality in boars. *Int. J. Biometeor.* 14:373.
- 221 Dutt, R. H. and P. T. Hamm. 1957. Effects of exposure to high environmental temperature and shearing on semen production in rams in winter. *J. Anim. Sci.* 16:328.
- 222 Dutt, R. H. and E. C. Simpson. 1957. Environmental temperature and fertility of southdown rams early in the season. *J. Anim. Sci.* 16:136.
- 223 Entwistle, K. Q. 1973. Ram fertility and fertilization rates in the ewe in a semi-arid tropical environment. *Int. J. Biometeor.* 17:109-113.
- 224 Whittema, J. V. and K. I. Brown. 1958. The effect of delayed shearing of ewes and daytime cooling of rams on late spring breeding performance. *J. Anim. Sci.* 18:392.

- 225 Physiology of Reproduction in Cattle. 1971. Western Regional Research Publication. California Agricultural Experiment Station Bulletin No. 853. pp. 66. September.
- 226 Thompson, H. J. 1957. Influence of humidity and wind on heat loads with dairy barns. Univ. of Missouri Agric. Exp. Sta. Research Bulletin 618.
- 227 Kibler, H. H. and S. Brody. 1954. Influence of wind on heat exchange and body temperature regulation in Jersey, Holstein, Brown Swiss and Brahman Cattle. Univ. of Missouri Agric. Exp. Sta. Research Bulletin 552.
- 228 Hamada, T. 1971. Extension of lower critical temperature for dry and lactating dairy cows. J. Dairy Science. 54:1704-1705.
- 229 Mount, L. E. 1976. Heat loss in relation to plane of nutrition and thermal environment. Proc. Nutr. Soc. 35:81-86.

معدل سريان الهواء لتهوية المواشي والدواجن* (QUANTITY OF AIR FLOW FOR LIVESTOCK VENTILATION)

- مقدمة • معادلات أساسية • اختيار القيم
- مقارنة النتائج • معدلات تهوية قياسية

مقدمة

(Introduction)

يناقش هذا الفصل المعادلات الأساسية المستخدمة لإيجاد معدلات سريان الهواء المطلوبة لتهوية المباني الزراعية ، كما يقدم قيماً تُستخدم مع هذه المعادلات . و سوف يتم شرح كيفية استخدام المعادلات والقيم مع الشرح لعدة أمثلة .

معادلات أساسية

(Fundamental Equations)

استخدمت الأشكال الأساسية للمعادلات المستخدمة لإيجاد معدل سريان الهواء في العديد من أنواع التحليلات الهندسية على مر السنين . فنجد تحت ظروف الحالات المستقرة أن قوانين حفظ الطاقة والمادة قد أوضحت أنه لو وُضع كيلو جرام واحد من الهواء أو الماء أو جول واحد داخل حيز مغلق ، فإنه لابد من أخذ كيلو جرام واحد إلى الخارج . أساسياً :

(١ ، ٨)

الكمية الداخلة = الكمية الخارجة

¹كارلوس هينكل : جامعة بورديو ، لافايت الغربية
دينيس ستومبوف : جامعة ولاية أوهايو ، كولومبس

وقد يتطلب لسريان الهواء في بعض الأحيان وجود مدخل واحد خلال الحيز المغلق، كما قد يوجد في بعض الأحيان عدة مخارج.

موازنة الحرارة المحسوسة (Sensible Heat Balance)

يمكن كتابة معادلة اتزان حراري محسوس بالنسبة لحيز مغلق خاص بمنشأة إنتاج حيواني وذلك بناءً على المعادلة رقم (١, ٨) كالآتي:

$$(٨, ٢) \quad Q_s + Q_e + Q_{sub} + Q_w + Q_{vo} = Q_{vi} + Q_b$$

حيث:

Q_s = الحرارة المحسوسة المتولدة بواسطة الحيوانات

Q_e = الحرارة الكلية المتولدة من الأجهزة مثل للمحركات الكهربائية، الإضاءة،

وغيره

Q_{sup} = الحرارة المضافة للمحافظة على درجة الحرارة الداخلية عند المستوى

المطلوب

Q_w = الحرارة المحسوسة الناتجة من تكثيف بخار الماء (+) أو المستخدمة لتبخير

الرطوبة (-) خلال الحيز

Q_{vo} = المحتوى الحراري المحسوس للهواء الخارجي والداخل إلى المبنى

Q_{vi} = المحتوى الحراري المحسوس للهواء الداخلي والخارج من المبنى

Q_b = الحرارة المفقودة خلال حوائط وأرضية وسقف وأبواب وشبابيك

المبنى.

وعادة يتم ترتيب أجزاء المعادلة رقم (٨, ٢) إلى داخل مجموعتين. فيمثل المجموع الجبري للحرارة المكتسبة أو المفقودة على الجانب الأيسر من المعادلة رقم (٨, ٣) الحرارة المحسوسة المتاحة لتدفئة هواء التهوية، بينما يمثل الفرق بين المحتوى الحراري للمحسوس للهواء الداخل والخارج على الجانب الأيمن من المعادلة رقم (٨, ٣) الحرارة المحسوسة المفقودة في عملية التهوية.

$$(٨, ٣) \quad Q_s + Q_e + Q_{sup} + Q_w - Q_b = Q_{vi} - Q_{vo}$$

ويمكن تقليل عدد أجزاء الجانب الأيسر من المعادلة بإهمال الحرارة المتولدة من الأجهزة (Q_e) حيث القيمة صغيرة بالمقارنة بالمركبات الأخرى. ونظراً لأنه من

الطبيعي أن تكون معدلات التهوية منخفضة في فصل الشتاء، فإنه يجب الأخذ في الاعتبار الحرارة المحسوسة الناتجة إما من تكثيف بخار الماء (Q_w) أو المستخدمة لتبخير الرطوبة (Q_w) من داخل المبنى. وقد يكون التكثيف ذا قيمة بالنسبة للمباني ذات الأسطح غير المعزولة أو التي تحتوي على شبائيك كثيرة. أما بالنسبة للمباني ذات الأسطح المعزولة جيداً وذات معدل تهوية كاف، فإنه في الغالب ما يهمل التكثيف. وبالمثل، قد يكون تبخر كل من اليوريا والماء من أرضية المبنى بمعدلات جذرية بالنسبة للمباني الممتلئة بالحيوانات مع وجود أرضية مثقبة غير نافذة للماء. وتوصي بعض المراجع بالنسبة لبعض المنازل بزيادة قيمة الرطوبة الخارجة من تنفس الحيوانات بمقدار ٢٥٪ للحصول على الرطوبة الكلية التي يمكن التخلص منها باستخدام نظام التهوية الشتوي. وقد يكون المطلوب زيادة الحرارة المضافة (Q_w) لتبخير أي زيادة في الرطوبة الداخلة إلى المبنى في صورة ماء حر. ويصرف النظر عن ذلك، يجب أن تتضمن أساليب الإدارة للحيوانات مراعاة استخدام عوازل لأسطح المبنى وتقدير معدل التهوية المطلوب.

وتعتبر المعادلة رقم (٨، ٣) صالحة الاستخدام - طالما أن (Q_v) أكبر من (Q_{vi}) - لإيجاد معدل التهوية المطلوب للمحافظة على درجة حرارة الهواء الداخلية المطلوبة. كما أنه يمكن أيضاً استخدامها لحساب كمية الطاقة المضافة (Q_{sup}) وذلك بعملية معدل التهوية. ولا بد عند استخدام هذه المعادلة من تقييم كل جزء على حدة. ويمكن استخدام رمز فردي (Q_{sv}) ليمثل الحرارة المحسوسة المستخدمة لتدفئة هواء التهوية. ويمكن أيضاً تقييم الفرق بين للمحتوى الحراري للهواء الخارجي والداخلي بالنسبة لوحدة الزمن بعملية كتلة هواء التهوية لوحدة الزمن مضروبة في فرق المحتوى الحراري، أو مضروبة في الحرارة النوعية وفرق درجة الحرارة بين الهواء الداخل والخارج.

$$(٨، ٤) \quad Q_{sv} = M(h_{tp} - h_o)$$

أو

$$(٨، ٥) \quad Q_{sv} = M(C_p)(t_i - t_o)$$

حيث:

Q_{sv} = الحرارة المحسوسة المستخدمة لتدفئة هواء التهوية، كيلوجول/ث

M = كتلة هواء التهوية ، كجم/ ث
 htp = نقطة انقلاب المحتوى الحراري للهواء ، تُقوّم عند درجة الحرارة الداخلية
 ونسبة الرطوبة الخارجية ، كيلو جول/ (كجم هواء جاف . م)
 ho = المحتوى الحراري للهواء الخارجي ، كيلو جول/ (كجم هواء جاف . م)
 Cp = الحرارة النوعية للهواء الجاف ، (١,٠٣٥) كيلو جول/ (كجم هواء جاف . م)

ti = درجة حرارة الهواء الداخلية ، م
 to = درجة حرارة الهواء الخارجية ، م.

ولا تتساوى تماماً المعادلة رقم (٨، ٤) مع المعادلة رقم (٨، ٥). فتعتبر المعادلة رقم (٨، ٤) أكثر دقة بحوالي ٠,٠٢ كيلو جول لكل درجة من فرق درجات الحرارة. ويرجع السبب في ذلك إلى زيادة درجة حرارة بخار الماء الموجود في الهواء الداخل والذي لم يدخل في الحساب في المعادلة (٨، ٥). ويمكن إهمال الفرق بين المعادلتين بالمقارنة بالفروض الأخرى. ويُفضل استخدام المعادلة رقم (٨، ٤) في حالة توافر خريطة سيكرومترية. وتسمح الخريطة بالحصول على حل مرئي مثلته مثل الحل الرقمي. وتعتبر معادلة المحتوى الحراري مرغوبة أيضاً في حالة توافر آلة حاسبة أو حاسوب آلي. وتتوافر جداول البيانات في المرجع (ASHRAE, 1981). ويمكن في حالات أخرى الحصول على حل سريع مع دقة مقبولة باستخدام المعادلة رقم (٨، ٥).

ويمكن الحصول على البيانات الخاصة بالحرارة المتولدة من الحيوانات والتي تستخدم في المعادلة رقم (٨، ٣) وذلك إما من الجدولين رقمي (٧، ١) أو (٧، ٢) في الفصل السابع، أو يمكن إيجادها من المعادلات الموجودة في المرجع رقم (١). ويمكن حساب الحرارة المفقودة من المبنى من المعادلة :

$$Q_b = UA(t_i - t_o) \quad (٨, ٦)$$

حيث :

UA = معامل الفقد الحراري والذي يمكن الحصول عليه من مواصفات المبنى ،

كيلو واط/ م

(ti & to) تم تعريفهما في المعادلة رقم (٨، ٥).

ولكي نحصل على معدل التهوية المطلوب للمحافظة على درجة حرارة محددة للهواء الداخل بدون أي إضافة حرارية خارجية ، فإنه ينبغي وضع (Q_{sup}) مساوية للصفر . ويمكن حل المعادلتين رقمي (٨ ، ٤) و (٨ ، ٥) بالنسبة لـ (M) كالآتي :

$$M = (Q_s - Q_b) / (h_{tp} - h_o) \quad (٨, ٧)$$

و

$$M = (Q_s - Q_b) / C_p(t_i - t_o) \quad (٨, ٨)$$

ونظراً لأنه من الطبيعي أن يعبر عن (M) بوحدات متر مكعب على الثانية ، فإن قيم (M) في كل من المعادلتين رقمي (٨ ، ٧) و (٨ ، ٨) في احتياج للتحويل من وحدات كتلة إلى وحدات حجم . والمعادلات الناتجة لمعدل التهوية بوحدات متر مكعب على الثانية هي :

$$V_s = [v / (h_{tp} - h_o)] [Q_s - UA(t_i - t_o)] \quad (٨, ٩)$$

$$V_s = [v / (C_p(t_i - t_o))] [Q_s - UA(t_i - t_o)] \quad (٨, ١٠)$$

حيث :

V_s = معدل التهوية الضروري للتخلص من الحرارة المحسوسة المتاحة للمحافظة

على درجة حرارة الهواء الداخلي عند (t_i) م^٣/ثانية

v = الحجم النوعي للهواء ، يُقوَّم عند الظروف الداخلية بالنسبة لنظم

الطرد ، ويقوَّم عند الظروف الخارجية بالنسبة لنظم الضغط ، م^٣/كجم

هواء جاف .

أما في حالة اختيار قيمة لمعدل التهوية ، فإنه يمكن حساب كمية الطاقة الواجب إضافتها للمبنى بالحل بالنسبة لـ (Q_{sup}) في المعادلة رقم (٨ ، ٣) . ويُفضل استخدام الوحدات (كيلواط) بالنسبة لـ (Q_{sup}) .

موازنة الرطوبة (الحرارة الكامنة) (Moisture (Latent Heat) Balance)

يمكن - بنفس الطريقة السابقة - أن نبدأ بالمعادلة رقم (٨ ، ١) بناءً على أتران الرطوبة أو الحرارة الكامنة في تطوير عدد من المعادلات لحساب معدل التهوية الضروري للتخلص من الرطوبة المتولدة ، وكذا المحافظة على نسبة رطوبة محددة سابقة داخل المبنى . والمعادلات الناتجة هي :

(٨, ١١)

$$V1 = (V.Q1)/(hi - htp)$$

(٨, ١٢)

$$V1 = (V.Mw)/(Wi - Wo)$$

حيث :

$V1$ = معدل التهوية للتحكم في الرطوبة (الحرارة الكامنة)، م^٣/ث
 V = الحجم النوعي للهواء، يُقوّم عند الظروف الداخلية بالنسبة لنظم الطرد،
ويُقوّم عند الظروف الخارجية بالنسبة لنظم الضغط، م^٣/كجم هواء جاف
 $Q1$ = معدل الحرارة الكامنة المتولدة داخل المبنى، كيلو واط
 hi = نقطة انقلاب المحتوى الحراري للهواء، تقيم عند درجة الحرارة الداخلية
ونسبة الرطوبة الخارجية، كيلو جول/كجم هواء جاف
 Mw = معدل بخار الماء المتولد داخل المبنى، كجم ماء/ث
 $2430 / Q1 =$

ويمثل الرقم ٢٤٣٠ الحرارة الكامنة لتبخير الماء عند درجة حرارة ٣٠م، كيلو
جول/كجم ماء

Wi = نسبة رطوبة الهواء الداخلي، كجم ماء/كجم هواء جاف
 Wo = نسبة رطوبة الهواء الخارجي، كجم ماء/كجم هواء جاف.
ومن الضروري مع أي من المعادلات السابقة استخدام خريطة سيكرومترية أو
جداول الخواص السيكرومترية.

اختيار القيم

(Selection of Values)

لا توجد اختلافات جوهرية حول شكل المعادلات التي سبق عرضها في الجزء
السابق. فيفضل البعض قيم المحتوى الحراري، بينما يُفضل البعض الآخر استخدام
درجة الحرارة ونسب الرطوبة. ويتطلب اختيار وتحديد قيم للمعادلات السابقة فهم
العمل البحثي السابق والمقدرة على الاختيار من بين تلك الأبحاث ومعرفة الظروف
المناخية المحلية. والأربع عوامل الأساسية التي يجب أخذها في الاعتبار هي: (أ)
الظروف التصميمية الخارجية (ب) الظروف التصميمية الداخلية (ج) الحرارة
المحسوسة المتولدة (د) الحرارة الكامنة المتولدة.

الظروف التصميمية الخارجية (Outside Design Conditions)

بيانات الأرصاد. من الواجب اختيار درجة الحرارة التصميمية للجو البارد بالنسبة للمنطقة التي تحتوي على مباني للإنتاج الحيواني. بينما عادةً ما تُستخدم درجة حرارة واحدة بالنسبة لمنطقة محددة في حساب الفواقد الحرارية ومنها المتطلبات من المواد العازلة وكمية الطاقة الواجب إضافتها، إلا أنه في الغالب ما تُستخدم درجتان أو أكثر في تصميم نظم التهوية. وتُستخدم أيضاً درجة الحرارة الخاصة بحسابات الحرارة المفقودة لإيجاد أقل معدل تهوية مستمر في الأجواء الباردة. وتستخدم أعلى درجة حرارة تصميمية لحساب سعة التهوية بالنسبة للأجواء المعتدلة. ويمكن استخدام درجة حرارة ثالثة - درجة حرارة تصميمية مناسبة لفصل الصيف - عند حساب أقصى سعة مروحية مطلوبة للمحافظة على ظروف مناسبة في فصل الصيف الحار.

أقل معدل تهوية مستمر. يحتوي الهواء على أقل كمية من الرطوبة عندما تكون درجة الحرارة الخارجية هي الأبرد. وهكذا يكون أقل معدل تهوية في جو الشتاء البارد مطلوباً للتخلص من الرطوبة المتبخرة والحرارة المحسوسة المتولدة داخل المبنى. ويوصى باستخدام درجة الحرارة الخارجية التصميمية عند حساب أقل معدلات التهوية الشتوية. ويوضح الملحق (أ) عناصر الحرارة المفقودة من خلال مبنى إنتاج حيواني. ويوصى عند التصميم باستخدام قيم ٩٧,٥ ٪ المدونة في الجدول رقم (١) من الملحق (أ).

وتُستخدم القيمة الكبرى من القيمتين المحسوبتين من المعادلتين رقمي (٨, ٩) أو (٨, ١٠) والمعادلتين رقمي (٨, ١١) أو (٨, ١٢) كأقل معدل تهوية شتوية مستمرة. ونجد عند حساب أقل معدل تهوية عند درجة حرارة تصميمية -١٥°م أو أقل، أن الرطوبة النسبية الخارجية تختلف قليلاً. ونجد كذلك أن سعة حمل الهواء للرطوبة تنخفض عند درجة حرارة -١٥°م أو أقل بالمقارنة بدرجة الحرارة الداخلية التي تتراوح من ١٥°م إلى ٢٠°م. ويؤدي ذلك إلى وجود فرق عند اختيار رطوبة نسبية خارجية تتراوح من ٦٠ و ٨٠ ٪ أو ١٠٠ ٪. وعادةً ما تُستخدم رطوبة نسبية في حدود ٨٠ ٪ في الأغراض التصميمية.

معدل تهوية متوسط. نظراً لوجوب عمل نظام التهوية بكفاءة سواء في الأجواء الشتوية المعتدلة أو في فصلي الخريف والربيع، فإنه يجب استخدام أعلى قيمة تصميمية للهواء الخارجي عند الحصول على معدل تهوية متوسط، وذلك للمحافظة على درجة حرارة ومستويات رطوبة تحت تلك الظروف. ويوضح الجدول رقم (١) في الملحق (أ) المتوسط اليومي للدرجات الحرارة لشهر يناير في الولايات المتحدة. وفي الغالب ما يوصى باستخدام معدل تهوية متوسط بالنسبة للأجواء المعتدلة.

وعادة يتم حساب معدل التهوية المتوسط من تحليل الاتزان الحراري الذي يسمح بالاحتفاظ بأقصى درجة حرارة تصميمية طالما أن درجة الحرارة الخارجية في حدود من ٣ إلى ١٠°م أقل من درجة الحرارة الداخلية. فعلى سبيل المثال، لو كانت أقصى درجة حرارة مطلوبة داخل مبنى إنتاج حيواني هي ٢٠°م، وتراوح درجة الحرارة الخارجية ما بين القيمة المتوسطة لشهر يناير و ١٦°م، فإنه يمكن حساب أقصى معدل تهوية باستخدام المعادلة رقم (٨، ١٠) مع درجة حرارة داخلية ٢٠°م ودرجة حرارة خارجية ١٦°م. وعادة لا يتم استخدام معادلة الاتزان الرطوبي - المعادلة رقم (٨، ١٢) - نظراً لأن معدل التهوية المتوسط غالباً ما يكون كافياً للمحافظة على رطوبة نسبية داخلية مقبولة.

أقصى معدل تهوية. غالباً ما نجد أن تبادل الهواء يكون كافياً بالنسبة للمباني بدون فتحات كبيرة والتي تعتمد على التهوية الميكانيكية أثناء الجو الحار، وذلك للمحافظة على درجة حرارة داخلية أعلى قليلاً من درجة الحرارة الخارجية. ويمكن حساب أقصى معدل تهوية باستخدام المعادلة رقم (٨، ١٠) مع فرض فرق درجة حرارة مقداره من ١ إلى ٣°م. ويمكن الحصول على نتائج متساوية بفرض معدلات تتراوح من ٧٥، ١٠ إلى ١٥ (تبادل هوائي / دقيقة) وحساب فرق درجة الحرارة من المعادلة رقم (٨، ١٠). وغالباً لا يستخدم المحتوى الرطوبي للهواء في فصل الصيف كأحد العوامل عند حساب متطلبات التهوية. وقد تكون الرطوبة النسبية للهواء الصيف مهمة في بعض المناطق حيث التهوية الصيفية مرتبطة مع نظام التبريد التبخيري.

تصميم الظروف الداخلية (Inside Design Conditions)

عادةً ما يتم اختيار درجات الحرارة الداخلية التصميمية التي تؤدي إلى الوصول إلى أكبر عائد بالنسبة لنظم التربية. وعادةً ما تتأثر درجات الحرارة التصميمية بعدة عوامل منها درجة الحرارة المطلوبة للوصول إلى أقصى معدل مكتسب أو إنتاج والحجم والنوع وعمر الحيوان وتكاليف الطاقة، وهكذا. وكقاعدة عامة، تعتبر درجات الحرارة الواقعة بين ١٠ و ٢٢ °م ملائمة لمعظم الحيوانات والدواجن باستثناء الحيوانات والطيور الصغيرة، حيث منطقة التعادل الحراري الخاصة بها مرتفعة نسبيًا. وقد تمت تغطية تأثير درجة الحرارة على الحيوانات في الفصل السابع. وتوجد أيضاً تلك المعلومات في عدة مراجع منها (Agnic. Eng. Yearbook (1982-1982). وتعتبر تلك البيانات مفيدة في حساب المدى الواجب استخدامه لدرجة الحرارة الداخلية لفصول الشتاء-الربيع-الخريف. وتتأرجح درجة الحرارة الداخلية بالنسبة لقيم التهوية الصيفية عدة درجات فوق درجة الحرارة الخارجية.

وعادةً لا يُحتفظ بدرجة الحرارة الداخلية ثابتة أثناء فصول الشتاء والخريف أو الربيع. فغالبًا ما تتأرجح درجة الحرارة الداخلية أثناء تلك الشهور كدالة على درجة الحرارة الخارجية. وفي الغالب ما تُصمم نظم التهوية والتدفئة للمحافظة على درجة الحرارة الداخلية داخل مدى محدد؛ بغض النظر عن تغيرات درجات الحرارة الخارجية. فعلى سبيل المثال، تتذبذب درجة الحرارة الداخلية للمجول ما بين ١٠ °م و ٢٠ °م بتغير درجة الحرارة الخارجية بين أقل درجة حرارة تصميمية و ١٠ °م.

ويُفضل استخدام رطوبة نسبية داخلية في فصل الشتاء في حدود من ٧٠ إلى ٨٠٪. ويتم اختيار القيمة التصميمية الفعلية بحيث تمنع تكثف بخار الماء على أسطح أجزاء المبنى العديدة. ويرجع السبب في ذلك إلى أن زيادة التكثيف على الأسطح تزيد من معدل تدهور حالة المبنى. كما يؤدي استخدام رطوبة نسبية أقل من ٨٠٪ أثناء العمل الشتوي إلى خفض إمكانية انتشار عدوى الأمراض.

تزويدات الحرارة المحسوسة (Sensible Heat Inputs)

يتأثر إنتاج الحرارة للمحسوسة للحيوانات والدواجن بعدة عوامل منها الحجم والعمر والنشاط ومعدل التغذية والإنتاجية ودرجة حرارة الوسط. ويوضح الجدولان

رقما (١، ٧) و (٢، ٧) القيم الممكن استخدامها في تصميم نظم التهوية. وتوافر هذه البيانات أيضاً في (Agric. Eng. Yearbook (1981). ويؤدي توافر تلك المعلومات إلى فهم أفضل للمهندس عن الأداء النهائي لنظام التهوية.

فعلى سبيل المثال، تم تجميع بيانات عن الحرارة المحسوسة لعجول بواسطة (Bond et al.⁽⁴⁾) في ولاية كاليفورنيا-ديفيس من داخل غرفة ذات أرضية خرسانية صلبة بدون فرشاة نُكحت مرتين يومياً. ولا تعتبر هذه الطريقة حالياً من الأساليب الإدارية الشائعة الاستخدام لإنتاج العجول. وقد تم أيضاً اختبار عدد أربعة إلى خمسة حيوانات كمجموعة في غرفة مساحتها ٢، ٤x٧، ٣ م. وقد تحتوي مساحة بهذا الحجم في يومنا هذا على عدد من ١٦ إلى ٢٠ عجلاً تحت ظروف التهوية الطبيعية. وتوضح معادلة الأرتداد الخاصة بالتنبؤ بالحرارة الكلية وجود اتساق في المنحنيات. ولكن، اعتبرت التغيرات من ساعة إلى أخرى أثناء "يوم تربية طبيعي" كبيرة نسبياً (انظر شكل رقم ٣، Bond et al.^(٣)).

وهناك جزء من الحرارة المحسوسة المتولدة يُستخدم في تبخير الرطوبة من الأرضية. وبناءً على ذلك تُقاس تلك الحرارة كحرارة كامنة بدلاً من حرارة محسوسة. وكما تم توضيحه سابقاً، فإن الجزء من الحرارة المحسوسة المستخدم في تبخير الماء من فرشاة الأرضية يتغير بتغير الأساليب الإدارية. وقد وُجد أن الرطوبة المزالة مع هواء التهوية من الأرضية المثبتة تساوي فقط نصف كمية الرطوبة المزالة فيما لو كانت الأرضية خرسانية صلبة^(٥). ونظراً لأن الحرارة الكلية المتولدة لا تتأثر جذرياً بنوع نظام الأرضية، فإن نسبة الحرارة المحسوسة إلى الحرارة الكامنة سوف تتغير مع نوع نظام الأرضية المستخدم.

وقد هدفت الفقرات العديدة السابقة إلى توضيح أن معظم الأخطاء في استخدام المعادلات الخاصة بالتهوية والموضحة سابقاً تحدث عند اختيار قيم الحرارة المحسوسة والكامنة المتولدة من الحيوانات. ومن الضروري فهم كيفية الحصول على البيانات والتغيرات الفعلية التي تحدث، وذلك للوصول إلى كفاءة في التطبيق. وبمجرد اختيار قيمة لكمية الحرارة المحسوسة المتولدة من الحيوانات أو الطيور، فإن العوامل الأخرى التي تظهر في حسابات التهوية قد تكون أكثر سهولة في التقييم ولا جدال عليها.

تزويدات الحرارة الكامنة (Latent Heat Inputs)

ويمكن أيضاً تطبيق المناقشة التي تمت بالنسبة للحرارة المحسوسة في الفقرات السابقة على الحرارة الكامنة المتولدة من الطيور والحيوانات. ويوضح الجدولان رقما (٧، ١) و (٧، ٢) أيضاً قيم الحرارة الكامنة التصميمية والموصى باستخدامها للطيور والحيوانات.

مرة أخرى، تكون كمية الحرارة الكامنة الواجب إزالتها مع هواء التهوية بالنسبة لمبنى تربية عجول ذي أرضية مثقبة حوالي نصف تلك القيم الموضحة بواسطة (4) (Bond et al.) - حيث يضاف الانخفاض في الحرارة الكامنة إلى الحرارة المحسوسة المتولدة. وقد تزداد الحرارة الكامنة الواجب إزالتها من مبنى بحوالي الثلث - مع التقص المتناظر في الحرارة المحسوسة - نتيجة لعدة أسباب منها عمليات غسل الأرضية والفواقد المائية والزيادة في درجة الحرارة والزيادة في معدل التهوية والانخفاض في الرطوبة النسبية الداخلية وزيادة سرعة الهواء فوق سطح الأرضية وانخفاض عدد مرات كحت الأرضيات الصلبة.

مقارنة النتائج

(Comparison of Results)

هناك معادلتان أساسيتان يتم استخدامهما لإيجاد متطلبات التهوية: تعتمد المعادلة الأولى على الحرارة المحسوسة المتاحة، بينما تعتمد الثانية على الحرارة الكامنة. ويمكن تحديد نظام التهوية الملائم بمجرد إجراء الحسابات المناسبة بالنسبة للعديد من ظروف التشغيل (تصميم شتوي، خريفي، ربيعي، أو صيفي). وسوف نستعرض في الفقرات التالية الحسابات التي يجب أخذها في الاعتبار.

أقل معدل تهوية مستمر (Minimum Continuous Ventilation)

يجب عند حساب أقل معدل تهوية مستمر استخدام المعادلتين رقمي (٨، ٩) و (٨، ١١) أو المعادلتين رقمي (٨، ١٠) و (٨، ١٢). ويجب أن تُستخدم مع تلك المعادلات درجة الحرارة التصميمية الشتوية الخارجية مع رطوبة نسبية ٨٠٪، وأقل درجة حرارة تصميمية داخلية مع الرطوبة النسبية الداخلية المرغوبة. ويتيح ذلك

وجود معدلين للتهوية: الأول للتحكم في درجة الحرارة والآخر للتحكم في الرطوبة. ويجب استخدام المعدل الأعلى كأقل معدل تهوية مستمر.

مثال رقم ١.

احسب أقل معدل تهوية مستمر باستخدام مراوح من النوع الطارد لمبنى خنازير في مدينة لافاييت بولاية إنديانا. تحتوي المنشأة على ٥٠٠ رأس زنة ٧٥ كجم للواحد والأرضية من الخرسانة الصلبة. قيمة (UA) المتوسطة ٠,٥٥ كيلوواط/م^٢. أقل درجة حرارة داخلية مرغوبة ١٢ م^٢ وأقصى رطوبة نسبية داخلية ٧٥٪.

الحل

يتم حساب معدل التهوية للتحكم في درجة الحرارة باستخدام المعادلة رقم (٩, ٨):

$$V_s = [v/(h_{tp} - h_o)] [Q_s - UA(t_i - t_o)]$$

ونجد من الخريطة السيكرومترية أن قيمة $v = ٧,٨١٥$ م^٣/كجم؛ وقيمة $h_{tp} = ١٣,٨$ (كيلوجول/كجم)؛ وقيمة Q_s التي تم التنبؤ بها (SHL) من الجدول رقم (٧, ١) عند ١٢ م^٢ و ٧٥ كجم = ١,٧٤ (واط/كجم)

$$Q_s = 1.74(w/kg) * 75(kg/pig) * 500(pigs) = 65.3 \text{ kW}$$

$$V_s = [0.815/(13.8 - (-14.3))] [65 - 0.55 (12 - (-16))]$$

$$= 1.44 \text{ m}^3/\text{s}$$

ومعدل التهوية للتحكم في الرطوبة باستخدام المعادلة رقم (١١, ٨):

$$V_1 = (v * Q_1) / (h_i - h_{tp})$$

ونجد من الخريطة السيكرومترية أن قيمة h_i - عند ١٢ م^٢ و ٧٥٪ رطوبة نسبية - تعادل ٢٨,٦ (كيلوجول/كجم). ونجد باستخدام الجدول رقم (٧, ١) أن قيمة الرطوبة المتولدة $MP = ١٧$, ١ جم ماء/ (كجم. ساعة).

$$Q_1 = 1.17(g \text{ H}_2\text{O}/kg.h) * (2.43(kJ/g \text{ H}_2\text{O}))(1/3600)(h/s) *$$

$$75(kg/pig) * 500(pigs)$$

$$= 29.5 \text{ kW}$$

$$V_1 = (0.815 * 29.5) / (28.6 - 13.8)$$

$$= 1.62 \text{ m}^3/\text{s}$$

ونظراً لأنه قد تم الحصول على القيمة الأكبر من معادلة موازنة الحرارة الكامنة (الرطوبة) ، فسوف يتم استخدام الرطوبة النسبية الداخلية عند القيمة التصميمية المختارة . وبما أن استخدام هذا المعدل سوف يتيح معدل تهوية أكبر من المطلوب للتحكم في درجة الحرارة الداخلية المختارة ، فسوف تنحدر درجة الحرارة الداخلية إلى قيمة أصغر من أقل قيمة مرغوبة ١٢ °م ، وذلك في حالة عدم وجود أي تدفئة إضافية . ونتيجة لذلك ، فإنه من الضروري حساب كمية الحرارة الإضافية المطلوبة للمحافظة على درجة الحرارة الداخلية المرغوبة (ii) .

الحرارة الإضافية المطلوبة (Supplemental Heat Requirement)

يجب استخدام المعادلة رقم (٣، ٨) عند حساب كمية الحرارة المضافة بالنسبة لـ (Q_{sup}) . ويجب تركيب أجهزة تدفئة ذات أحجام كافية لتغطية حمل التدفئة المطلوب .

مثال رقم ٢

احسب حمل التدفئة المطلوب في مثال ١ إذا كان معدل التهوية المستخدم هو ١,٦٢ م^٣/ث .

الحل

يمكن إعادة كتابة المعادلة رقم (٣، ٨) كالآتي :

$$Q_{sup} = (Q_{vi} - Q_{vo}) + Q_b - Q_s$$

$$(Q_{vi} - Q_{vo}) = Q_{sv} = M(h_{tp} - h_o)$$

من المثال رقم ١ :

$$Q_{sv} = (1.62/0.815)(13.8 - (-14.3)) = 56.0 \text{ kW}$$

$$Q_{sup} = 56.0 + 15.4 - 65.0 = 6.4 \text{ kW}$$

تأثير استخدام أرضية مثقبة (Slotted Floor Effect)

يمكن تقليل حمل التدفئة المطلوب بالنسبة للأرضية الخرسانية الصلبة في الأمثلة السابقة وذلك عن طريق استخدام أرضية مثقبة . فتعمل الأرضيات المثقبة مع

أحواض التجميع أسفلها على التخلص بسرعة من جزء كبير من سوائل الحيوانات . وهكذا يتم استخدام جزء أقل من الحرارة المحسوسة المتولدة من الحيوانات في تبخير رطوبة الأرضية .

مثال رقم ٣

اعد حساب المثال رقم ١ وذلك في حالة ما إذا كانت الأرضية المستعملة مثقبة .

الحل

يتم استخدام المعادلة رقم (٩ , ٨) في حساب معدل التهوية المطلوب للتحكم في درجة الحرارة . ويلاحظ عدم حدوث أي تغيير لأي من القيم السابقة باستثناء (Qs) . فنجد عند درجة حرارة ١٢ °م ووزن للحيوان مقداره ٧٥ كجم أن :

$$V_s = [0.13 + (1/2) * (0.059)] (kW/pig) * 500 (pigs) \\ = 79.8 \text{ kW}$$

وهكذا نجد أن :

$$Q_s = [0.815 / (13.8 - (-14.3))] [79.8 - 0.55(12 - (-16))] \\ = 1.87 \text{ m}^3/\text{s}$$

ويتم استخدام المعادلة رقم (١١ , ٨) عند حساب معدل التهوية للتحكم في الرطوبة . ويلاحظ عدم حدوث أي تغيير لأي من القيم السابقة باستثناء Q1 .

$$(Q1 \text{ at } 12^\circ\text{C and } 75 \text{ kg}) = (1/2) * 0.059 (kW/pig) * 500 (pigs) \\ = 14.8 \text{ kW}$$

وهكذا نجد أن :

$$V1 = (0.815 * 14.8) / (28.6 - 13.8) \\ = 0.82 \text{ m}^3/\text{s}$$

ونجد بناءً على ماسبق أن الحصول على أكبر معدل تهوية كان في المثال رقم ٣ من معادلة موازنة الحرارة للحسوسة . وهكذا يتم استخدام هذا المعدل مع تثبيت درجة الحرارة المستخدمة عند القيمة المختارة بدون أي احتياج إلى حرارة إضافية . ويعتبر هذا المعدل أكبر من المعدل المطلوب للمحافظة على المستوى المرغوب من الرطوبة النسبية الداخلية . وقد أصبحت الرطوبة النسبية الداخلية أقل من القيمة

الأولى، ويعتبر ذلك مرغوباً طبيعياً.

استخدام حالات أخرى غير حالات التصميم الدنيا

(Other than Minimum Design Conditions)

يمكن الحصول على صورة واضحة لأداء التهوية الشتوية لمبنى إنتاج حيواني عن طريق حساب متطلبات التهوية لكل من الاثنان الحراري والرطوبي بالنسبة لمدى من درجات الحرارة الخارجية، ورسم القيم المحسوبة للحصول على تمثيل بياني لأداء المبنى.

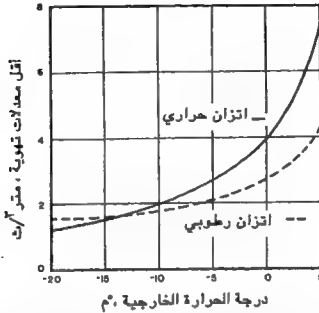
مثال رقم ٤

اعد حساب معدلات التهوية (V1, V6) في المثال رقم ١ باستخدام درجات حرارة خارجية تتغير من -٢٠ إلى ٥°م ورطوبة نسبية ثابتة عند ٨٠٪.

الحل
النتائج الجدولية

to	٢٠,٠٠-	١٥,٠٠-	١٠,٠٠-	٥,٠٠-	صفر	٥,٠٠
ho	١٨,٩٠-	١٢,١٠-	٦,٩٠-	٠,١٠-	٧,٦٠	١٥,٩٠
htp	١٢,٢٠	١٤,٠٠	١٥,٢٠	١٧,٠٠	١٩,٦٠	٢٢,٩٠
V6	١,٢٠	١,٥١	١,٩٥	٢,٦٥	٣,٩٧	٧,١٢
V1	١,٥٦	١,٦٥	١,٧٩	٢,٠٧	٢,٦٧	٤,٢٢

ويوضح الشكل رقم (١, ٨) بيانياً قيم معدلات التهوية. ويلاحظ أن منحنيات التهوية للتحكم في كل من الرطوبة والحرارة تتقاطع عند درجة حرارة خارجية حوالي -١٢°م. ونجد عند درجات حرارة أقل من نقطة التقاطع أن معدل التهوية المطلوب للتحكم في الرطوبة أعلى منه للتحكم في درجة الحرارة. وتسمح المراوح التي تعمل بواسطة جهاز الحس الحراري عند هذه الدرجات المنخفضة بتراكم الرطوبة داخل المبنى، أي أن الرطوبة سوف ترتفع فوق المستويات المطلوبة، وقد يحدث تكثيف على الأسطح الباردة. ونجد عند درجات حرارة أعلى من نقطة



شكل (٨، ١). أقل معدلات تهوية محسوبة لكل من الاتزان الحراري والرطوبي لبنى تربية خنازير ذي أرضية صلبة بالقرب من مدينة لاقايت بولاية أندمانا. تم التحكم في الظروف الداخلية عند ١٢ م ورطوبة نسبية ٧٥٪ ورطوبة نسبية خارجية ٨٠٪.

التقاطع أن معدل التهوية المطلوب للاتزان الحراري يزداد عن معدل التهوية المطلوب للتحكم في الرطوبة. وفي تلك الحالة، لن تكون هناك أي مشكلة بالنسبة لتكثيف الرطوبة.

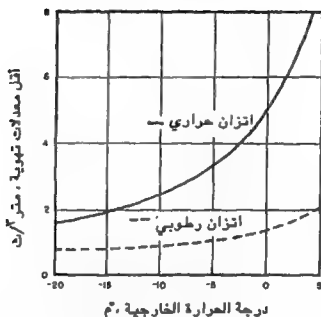
مثال رقم ٥

اعد حساب مثال ٤ في حالة وجود أرضية مثقبة.

الحل

لن يحدث في هذا المثال أي تغيير بالنسبة إلى (٧) و (٧س) عن القيم المحسوبة في المثال رقم ٣. ولن يحدث كذلك أي تغيير بالنسبة للمحتوى الرطوبي وبعض القيم الأخرى عن ما هو موجود في المثال رقم ٤. وقد تم عمل جدول مماثل لجدول النتائج الموضح في الشكل رقم ٤ باستخدام آلة حاسبة مبرمجة، كما في الشكل رقم (٨، ٢).

ويلاحظ من الشكل رقم (٨، ٢) - بالمقارنة بالشكل رقم (٨، ١) - أن الفرق الأكثر وضوحاً هو عدم تقاطع منحنيات التهوية الخاصة بكل من الحرارة والرطوبة مع



شكل (٨، ٢). أقل معدلات تهوية محسوبة لكل من الاتزان الحراري والرطوبي لمبنى تربية خنازير ذي أرضية مثقبة بالقرب من مدينة لافاييت بولاية إنديانا. تم تهيشة الظروف الداخلية عند ١٢°م ورطوبة نسبية ٧٥٪ ورطوبة نسبية خارجية ٨٠٪.

بعضها البعض. وهكذا نجد أن التهوية الخاصة بالاتزان الحراري عند كل درجات الحرارة الخارجية أكبر من تلك الخاصة بالاتزان الرطوبي، ولن يحدث أي تراكم للرطوبة داخل المبنى. ويزداد معدل التهوية لمبنى ذي أرضية مثقبة إلى حوالي ٣٢٪ عند ٢٠°م عن المطلوب بالنسبة لمبنى ذي أرضية صلبة. ويقل هذا الفرق إلى حوالي ٢٤٪ عند ٥°م.

وبين الجدولان رقمي (٨، ١) و (٨، ٢) أيضاً طريقة أخرى لإيجاد تأثير درجة الحرارة الخارجية المتغيرة على أقل معدلات التهوية، وذلك بالنسبة للتخلص من كل من الحرارة أو الرطوبة. ويمكن استخدام القيم الجدولية عند مدى من درجات الحرارة الداخلية ١٠°م ورطوبة نسبية ٧٥٪. وتوضح صفوف الجدول فرق درجة الحرارة (ti - to) في المدى من ٢٠ إلى ٤٠°م. وتحتوي رؤوس الأعمدة على قيم الحرارة المحسومة المفقودة (SHL) أو الرطوبة المتباعدة (MP). ومدون بالجدول رقم (١، ٧) قيم لكل من (SHL و MP) بالنسبة للعديد من حيوانات المزرعة وعند أحجام

مختلفة. ويوجد بالجدول رقم (٢، ٧) أيضاً نتائج مماثلة بالنسبة للدواجن.

مثال رقم ٦

اوجد باستخدام الجدولين رقمي (١، ٨) و (٢، ٨) أقل معدل تهوية مطلوب للتخلص من كل من الحرارة المحسوسة والرطوبة لعدد ٥٠٠ حيوان زنة ٧٥ كجم للحيوان الواحد، وذلك باستخدام ظروف المثال رقم ١.

الحل

القيمة الخاصة بالتخلص من الحرارة المحسوسة اللازمة للتحكم في درجة الحرارة - كما هي مدونة في الفصل السابع - هي $(SHL = 1.74 \text{ W/kg pig})$. ونجد - بإمعان النظر في الجدول رقم (١، ٨) بين الأعمدة ٦، ١، ٨، ١ واط/كجم عند فرق درجة حرارة يعادل 28°م - أن معدل التهوية للتخلص من الحرارة $51 \text{ (م}^3/\text{ث. جيجا$ جم)، أي أن:

$$V_s = 51(\text{m}^3/\text{s.Gg}) * 75(\text{kg/pig}) * (500(\text{pigs})) = 1.91 \text{ m}^3/\text{s}$$

حيث جيجا جم = 10^9 جم

وبناءً على فرض هامش الجدول رقم (١، ٨)، نجد أن هناك 20% من الحرارة تفقد خلال المبنى المستخدم و 80% مع هواء التهوية، وعلى ذلك فإن:

$$V_s = 1.91 * (80/100) = 1.62 \text{ m}^3/\text{s}$$

والرطوبة المتولدة من الفصل السابع هي $MP = 1.17 \text{ (gH}_2\text{O/kg.h)}$. وبالمثل نجد - بتدقيق النظر بين الأعمدة ١، ٢، ١ (جم ماء/كجم. ساعة) وفي الصف عند فرق درجة حرارة مقداره 28°م - أن معدل التهوية المطلوب للتخلص من الرطوبة $43 \text{ (ث. جيجا جرام) أي أن:}$

$$V_I = 43(\text{m}^3/\text{s.Gg}) * 75(\text{kg/pig}) * (500(\text{pigs})) = 1.61 \text{ m}^3/\text{s}$$

ويجب مقارنة معدلي التهوية المتحصل عليهما من هذا المثال بتلك المتحصل عليهما من المثال رقم ١. ويلاحظ عدم تغير معدلات التهوية للتخلص من الرطوبة؛ نظراً لاستخدام نفس القيم في كل من المثالين. وغالباً ما يختلف معدل التهوية للتخلص من الحرارة - على حسب الجدول رقم (١، ٨) - عن القيمة المحسوبة بناءً على تقدير الجزء من الحرارة المحسوسة المفقودة خلال المبنى وغير المتضمنة مع هواء

جدول (٨، ١). أقل معدلات تهوية مستمرة للتخلص من الحرارة المحسوسة حسب قيم الجدولية من المعادلة رقم (٨، ١٠) باستخدام المعلومات التالية:

$$v = 0.82 \cdot m^3 / \text{كجم هواء جاف} \cdot \text{تغير قيم (SHL) من } 1.0 \text{ إلى } 6.0 \text{ واط/كجم، (انظر الجدولين رقمي (٧، ١) و (٧، ٢) بالنسبة لقيم (SHL) ؛ أهملت قيم UA* ؛ تغير قيم (ti - to) من } 2.0 \text{ إلى } 4.0 \text{ م}^3 \cdot \text{وحدات معدلات التهوية المستخلصة في الجدول م}^3 / \text{(ث. جيجاجم من وزن الحيوان). ولحساب أقل معدل تهوية، تضرب القيمة الجدولية في وزن الحيوان الكلي.}$$

الحرارة المحسوسة المفقودة (SHL)، واط/كجم

(ti - to)

٦.٠	٥.٠	٤.٠	٣.٥	٣.٠	٢.٦	٢.٤	٢.٢	٢.٠	١.٨	١.٦	١.٤	١.٢	١.٠	°C		
٢٤٦	٢.٥	١٦٤	١٤٤	١٢٣	١.٧	٩٣	٩.٠	٨٢	٧٤	٦٦	٥٧	٤٩	٤١	٢.٠		
٢٢٤	١٨٥	١٤٩	١٣.٠	١١٢	٩٧	٨٩	٨٢	٧٥	٦٧	٦.٠	٥٢	٤٥	٣٧	٢.٢		
٢.٥	١٧١	١٣٧	١٢.٠	١.٣	٨٩	٨٢	٧٥	٦٨	٦٢	٥٥	٤٨	٤١	٣٤	٢.٤		
١٨٩	١٥٨	١٢٦	١١.٠	٩٥	٨٢	٧٦	٦٩	٦٣	٥٧	٥.٠	٤٤	٣٨	٣٢	٢.٦		
١٦٤	١٣٧	١.٩	٩٦	٨٢	٧١	٦٦	٦.٠	٥٥	٤٩	٤٤	٣٨	٣٣	٢٧	٢.٨		
١٥٤	١٢٨	١.٣	٩.٠	٧٧	٦٧	٦٢	٥٦	٥١	٤٦	٤١	٣٦	٣١	٢٦	٣.٠		
١٤٥	١٢١	٩٥	٨٤	٧٢	٦٣	٥٨	٥٣	٤٨	٤٣	٣٩	٣٤	٢٩	٢٤	٣.٢		
١٣٧	١١٤	٩١	٨.٠	٦٨	٥٩	٥٥	٥٠	٤٦	٤١	٣٦	٣٢	٢٧	٢٢	٣.٤		
١٢٣	١.٣	٨٢	٧٧	٦٢	٥٣	٤٩	٤٥	٤١	٣٧	٣٣	٢٩	٢٥	٢١	٣.٥		

$$m^3 / \text{(ث. جيجاجم)} = SHL \cdot 0.82 \cdot 10^3$$

* يمكن عند الرغبة حساب القيمة $UA(ti - to)(\text{kg of animal (or bird) weight})$ بالنسبة لمنشأة فعلية وإتقاصها من قيمة (SHL) قبل استخدام الجدول. ويعتبر خفض قيمة (SHL) بمقدار ٢٠٪ تقدير جيد لتأثير الفقد (UA) بالنسبة للمباني ذات العزل الجيد.

التهوية. ومن النواحي العملية يعتبر التوافق بين القيمتين كافياً ؛ نظراً لوجود أجهزة التدفئة في أحجام محددة.

ويمكن عمل مقارنة أخرى للنتائج من الجدولين رقمي (٨، ١) و (٨، ٢) مع معدلات التهوية القياسية المقترحة من Midwest Plan Service (MWPS). ويُبين الجدول رقم (٨، ٣) تعديلاً لمعدلات التهوية الموصى باستخدامها من (MWPS). فأقل معدل تهوية لعدد ٥٠٠ خنزير ذة ٧٥ كجم للواحد ٢، ٨٥ م³/ث. فإذا ماتم استخدام معدلات التهوية الخاصة بالـ (MWPS)، نجد أنه يمكن إهمال الفرق بين

جدول (٨، ٢). أقل معدلات تهوية مستمرة للتخلص من الرطوبة حسب القيم الجدولية من المعادلة رقم (٨، ١٢) باستخدام المعلومات التالية: $v = ٨٢$ ، m^3 / كجم هواء جاف؛ $MP =$ الرطوبة المتولدة بوحملات (كجم ماء/ كجم. ساعة) / ٣ ، ٦ ، (انظر الجدولين رقمي (١، ٧) و (٢، ٧)؛ بفرض قيمة Wi مقدارها $٠,٠٠٧٥$ (كجم ماء/ كجم. ساعة هواء جاف) صالحة في المدى من ١٠ م^٣ و ٩٠ رطوبة نسبية إلى المدى ١٥ م^٣ ورطوبة نسبية ٧٥ ٪؛ وتغير قيمة Wo بين $٠,٠٠٠٣$ (كجم ماء/ كجم هواء جاف) - عند ٢٥ م^٣ و ٨٠ رطوبة نسبية - و $٠,٠٠٢$ (كجم ماء/ كجم هواء جاف) - عند ٥ م^٣ و ٨٠ رطوبة نسبية. وحدات التهوية المستخدمة م^٣ / (جيجا جم من وزن الحيوان). ولايجاد معدل التهوية، تضرب القيمة الجدولية في وزن الحيوان الكلي.

الرطوبة المتولدة، MP ، جم ماء/ كجم. ساعة											
kg H2O/kg DA ° C											
٢,٠	٢,٨	٢,٤	٢,٠	١,٨	١,٦	١,٢	١,٠	٠,٦			
١٧٤	١٠٨	٩٩	٨٣	٧٥	٦٦	٥٠	٤١	٢٥	٠,٠٠٥٥	٢٠	
١٧١	١١٢	٩٦	٨٠	٧٢	٦٤	٥٦	٤٠	٢٤	٠,٠٠٥٦٧	٢٢	
١١٧	١٠٩	٩٤	٧٨	٧٠	٦٢	٤٧	٣٩	٢٣	٠,٠٠٥٨٤	٢٤	
١١٤	١٠٦	٩١	٧٦	٦٨	٦١	٤٥	٣٨	٢٣	٠,٠٠٦٠١	٢٦	
١١١	١٠٣	٨٨	٧٤	٦٦	٥٩	٤٤	٣٧	٢٢	٠,٠٠٦١٨	٢٨	
١٠٨	١٠٠	٩٣	٧٩	٦٥	٥٧	٤٣	٣٦	٢٢	٠,٠٠٦٣٥	٣٠	
١٠٥	٩٨	٨٤	٧٠	٦٣	٥٦	٤٢	٣٥	٢١	٠,٠٠٦٥٢	٣٢	
١٠٢	٩٥	٨٢	٦٨	٦١	٥٤	٤١	٣٤	٢٠	٠,٠٠٦٦٩	٣٤	
١٠٠	٩٣	٨٠	٦٦	٦٠	٥٣	٤٠	٣٣	٢٠	٠,٠٠٦٨٥	٣٦	
٩٥	٨٩	٧٦	٦٣	٥٧	٥١	٣٨	٣٢	١٩	٠,٠٠٧٢٠	٤٠	

$$Wi-Wo=0.0038 + 0.00085(ti-to)$$

$$M^3/(ث. جيجا جم) = 0.82(Mp)/(3.6*(0.0038+0.00085*(ti-to)))$$

معدلات التهوية المحسوبة من المثال رقم ١ والمتحصل عليها من المثال رقم ٦. ويُناقش المقطع الأخير من هذا الفصل استخدام القيم المعدلة بواسطة (MWPS) في الجدول رقم (٨، ٣).

مثال رقم ٧.

أوجد باستخدام الجدولين رقمي (٨، ١) و (٨، ٢) أقل معدل تهوية مستمر للتخلص من كل من الحرارة والرطوبة لعدد ٦٠٠٠ دجاجة زنة ١، ٢ كجم للواحدة

من داخل منزل دجاج بالقرب من الشمال الشرقي لولاية إنديانا. علمًا بأن درجة الحرارة المرغوبة ودرجة الحرارة التصميمية الخارجية هما ١٨ و -١٥ م° على الترتيب.

الحل

فرق درجة الحرارة = ١٨ - (-١٥) = ٣٣ م°

وقيمة (SHL) من الجدول رقم (٧، ٢) = ٩، ٣ واط/كجم، إذن؛

$$V_s = 97 \times (\%A) / 3 \text{ م}^3 \text{ ث} \cdot \text{جيجا (كجم/طنن)} \times 2, 1 \times 6000 \text{ (طنن)}$$

$$= 98, 0 \text{ (م}^3 \text{ ث)}$$

وقيمة MP (م^٣/ث) من الجدول رقم (٧، ٢) = ٩، ٢ جم ماء/ (كجم. ساعة)،

إذن؛

$$V_i = 100 \text{ (م}^3 \text{ ث} \cdot \text{جيجا (كجم/طنن)} \times 2, 1 \times 6000 \text{ (طنن)}$$

$$= 1, 26 \text{ (م}^3 \text{ ث)}.$$

وأقل معدل تهوية يوصى باستخدامه بناءً على ظروف المثال رقم ٧ هو ١, ٢٦ م^٣/ث (على أساس التخلص من الرطوبة). ونظرًا لأن معدل التهوية للتخلص من الرطوبة أكبر من المعدل اللازم للتخلص من الحرارة، فإن المطلوب هو إضافة حرارة للمبنى، والتي يمكن حساب قيمتها باستخدام الطريقة الموضحة في المثال رقم ٢. ومن الضروري أيضًا توافر معلومات عن بيوت الدواجن حتى يتسنى إجراء الحسابات. وأقل قيمة يوصى باستخدامها بواسطة (MWPS) ١, ٤٤ (م^٣/ث)، وذلك كما هو موضح في الجدول رقم (٨، ٣). ويتيح الاختلاف بين القيمتين (حوالي ١٥٪) مدى للاختيار بالنسبة للعناصر ذات الساعات المحددة، وذلك حتى يتم الإيفاء بالأغراض التصميمية.

تأثير الأساليب الإدارية واختيار مادة العازل وكثافة تربية الحيوانات

(Effect of Management Practices, Building Insulation, and Animal Stocking Density)

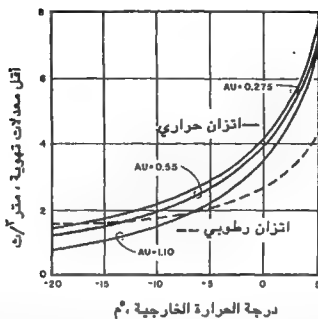
يمكن تقييم الأساليب الإدارية المتعددة والبدايل المختلفة بالنسبة لكل من استخدام المواد العازلة في المباني وكثافة تربية الحيوانات عن طريق إجراء حسابات مماثلة لما تم إنجازه في الفقرة السابقة، وكذلك عن طريق رسم منحنيات مماثلة للشكلين رقمي

جدول (٨,٣). معدلات تهوية قياسية بالنسبة لمباني الإنتاج الحيواني*

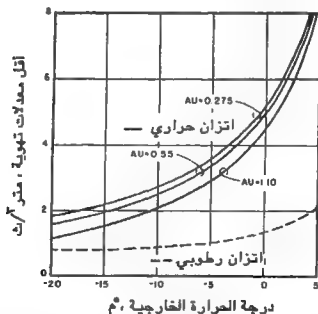
النوع	الوحدات	أقل (شتاء)	متوسط (خريف - ربيع)	معدل التهوية، م ^٣ /ث أقصى (صيف)
الدواجن				
كناكيت		٠,٠٤٧ / طائر	٠,١١ / كجم	٠,٢١ / كجم
دجاج بياض				
دجاج لآحم	/ طائر	٠,٢٤	٠,٩٤	١,٩
ماشية حلاية				
بقر في حظائر	/ ٤٥٠ كجم	١٢	٤٧	٢٤٠-١٤٠
دافئة				
عجول في حظائر	/ ٤٥ كجم	٤,٧	١٢	٢٤
ماشية لحم				
بقر في أماكن دافئة	/ ٤٥٠ كجم	٧,١	٤٧	٩٤

* تم التطوير من (MWPS, 1981)

(٨, ٢) و (٨, ٣). فعلى سبيل المثال، نفترض أن هناك تحسناً جذرياً للعازل المستخدم في مبنى بنسبة ٥٠٪ (أي أن قيمة U قد خُفِضت إلى النصف)، أو أن قيمة العازل قد انخفضت - أي أن قيمة U قد تضاعفت - وسوف ينتج عن ذلك تغيرات كما هو موضح في الشكل رقم (٨, ٣). فسوف يتحسن أداء المبنى بزيادة المواد العازلة إذا كان المبنى ذا أرضية صلبة؛ نظراً لأن نقطة تقاطع منحنيات التهوية الخاصة بكل من الحرارة والرطوبة قد زُحزحت إلى -١٦ م° بالمقارنة بالقيمة -١٢ م° والموضحة في الشكل رقم (٨, ١). وفي عبارة أخرى نجد أن المطلوب هو الحصول على درجات حرارة منخفضة قبل زيادة معدل التهوية الخاص بالاتزان الرطوبي عن معدل التهوية المطلوب للاتزان الحراري. وبالعكس، فإن الإقلال من استخدام المواد العازلة سوف ينتج عنه انخفاض في أداء المبنى؛ نظراً لأن تقاطع المنحنيات سوف يتزحزح إلى درجة حرارة خارجية مقدارها -٦ م°. ونظراً لثبات الرطوبة المتولدة، فإن تغير مستوى العازل لن يحدث أي تغيير في منحنى التهوية الخاص بالرطوبة.



شكل (٨,٣). تأثير استخدام مستويات مختلفة من عازل (UA) على أقل معدلات تهوية لبني خنازير ذي أرضية صلبة يقع بالقرب من مدينة لافايت بولاية أنديانا. تم تهئة الظروف الداخلية عند ١٢ م° ورطوبة نسبية ٧٥٪ ورطوبة نسبية خارجية ٨٠٪.

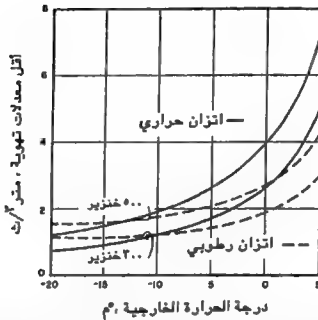


شكل (٨,٤). تأثير استخدام مستويات مختلفة من عازل (UA) على أقل معدلات تهوية لبني خنازير ذي أرضية مثقبة يقع بالقرب من مدينة لافايت بولاية أنديانا. تم تهئة الظروف الداخلية عند ١٢ م° ورطوبة نسبية ٧٥٪ ورطوبة نسبية خارجية ٨٠٪.

وقد يحدث شيء خارج عن القياس بالنسبة لمنحنيات التهوية الرطوبية والحرارية، وذلك عند استخدام مستويات مختلفة من المادة العازلة لمبنى ذي أرضية مثقبة، الشكل رقم (٤، ٨). فنجد أن منحني التهوية الواجب استخدامه هو للتحكم في درجة الحرارة. وهكذا فإن إضافة مواد عازلة أخرى للمبنى سوف تؤدي إلى إعاقه سريان الحرارة من المبنى؛ مما يؤدي إلى زيادة معدل التهوية الضروري للمحافظة على درجة الحرارة الداخلية المرغوبة. ويلاحظ أن التكلفة لن تكون في قيمة العازل المضاف فقط، بل أيضاً في زيادة تكلفة نظام التهوية. وبالعكس، فإن الإقلال من مستوى المادة العازلة المستخدمة في مبنى ذي أرضية مثقبة سوف يسمح بتسرب حراري إلى خارج المبنى، الأمر الذي قد يؤدي إلى الإقلال من معدل التهوية المستخدم. وقد يؤدي هذا الخفض إلى توفير مضاعف. فزيادة القيمة (UA) للمبنى إلى ١,٥٤ (واط/م^٢) سوف تؤدي إلى زحزحة نقطة التقاطع بين منحنيات التهوية الخاصة بالتحكم في الحرارة والرطوبة عند درجة حرارة إما أعلى أو أقل.

ويمكن أيضاً توضيح تأثير كثافة التربة باستخدام منحنيات التهوية الخاصة بكل من الحرارة والرطوبة. فعلى سبيل المثال، نفترض أن عدد الحيوانات في المثال رقم ١ قد خُفّض من ٥٠٠ إلى ٣٥٠، فإن الناتج - عند إعادة حساب معدلات التهوية - يصبح كما في الشكل رقم (٥، ٨). فيكون معدل التهوية المطلوب في تلك الحالة أقل بالنسبة لكل من الأتزان الحراري والرطوبي. والشئ الأكثر أهمية هو تغير نقطة التقاطع لمنحنيات التخلص من الحرارة والرطوبة. فنجد أن نقطة التقاطع عند استخدام عدد أقل من الحيوانات تحدث عند حوالي -١٠°م بالمقارنة بدرجة الحرارة -١٢°م مع استخدام أعداد أكبر من الحيوانات. ويتضح من ذلك تحسن أداء منشآت الإنتاج الحيواني عند امتلائها بالحيوانات. وقد أوضحت تحليلات مماثلة أن استخدام حيوانات ذات أحجام كبيرة سوف يؤدي إلى نفس النتائج. ويلاحظ من الجدول رقم (٧، ١) أن العلاقة بين الحرارة والرطوبة المتولدة من الحيوان كدالة على الوزن ليست علاقة خطية.

وقد أوضحت التحليلات وجوب توخي الحذر عند حساب أقل معدل تهوية مستمر، الأمر الذي قد يؤدي إلى نتائج عكسية عند التطبيق العملي. ولا بد من دراسة



شكل (٥، ٨). تأثير استخدام مستويين من كثافة التربية على أقل معدلات تهوية لمبنى خنازير ذي أرضية صلبة يقع بالقرب من مدينة لافاييت بولاية إنديانا. تم التحكم في الظروف الداخلية عند ١٢ م° ورطوبة نسبية ٧٥٪ ورطوبة نسبية خارجية ٨٠٪.

التغيرات المصاحبة لاستخدام الأساليب الإدارية المختلفة بالإضافة إلى تقييم كل من مستوى العازل المستخدم وكثافة التربية؛ لما قد تسببه تلك العوامل من تغيرات جذرية عند افتراض قيم لكل من الحرارة والرطوبة المتولدة. ويلاحظ أنه إذا ما تم حساب أقل معدل تهوية مستمر باستخدام معادلة الاتزان الرطوبي بالنسبة لكثافة تربية مرتفعة أو باستخدام حيوانات كبيرة، فإن استخدام هذا المعدل يعتبر كبيراً جداً بالنسبة لكثافة تربية منخفضة أو في حالة وجود حيوانات صغيرة داخل المبنى. وفي الغالب ما سيكون لتلك الزيادة تأثير عميق على كمية الطاقة المطلوب إضافتها للمحافظة على درجة الحرارة المختارة. فقد يؤدي استخدام معدل تهوية ١,٥ مرة أكبر من المطلوب للتخلص من الرطوبة إلى مضاعفة الطاقة المستهلكة بالنسبة للحرارة المضافة أربع مرات. ولذلك فإنه لا بد من حساب أقل معدلات تهوية مستمرة أينما حدثت تغيرات سواء بالنسبة لكثافة التربية أو حجم الحيوانات مع أخذ التدابير اللازمة للحصول على تلك المعدلات. ويتضمن الفصل التاسع اقتراحات إضافية بهذا الخصوص.

معدل التهوية المتوسط (Medium Ventilation Rate)

من الضروري زيادة معدل التهوية إلى مستويات أعلى من "أقل مستوى تهوية مستمر" في حالة ما إذا كانت درجة الحرارة الخارجية أعلى من أقل درجة حرارة تصميمية خارجية في أيام الشتاء الدافئة أو أثناء شهور الربيع والخريف، وذلك للمحافظة على الظروف الداخلية المرغوبة. ويتم عملياً الحصول على تلك المعدلات عن طريق حس درجة الحرارة الداخلية باستخدام أجهزة الحس الحراري، حيث تتم زيادة معدل التهوية عند ارتفاع درجة الحرارة الداخلية. ويتم الحصول على معدل التهوية المتوسط باستخدام أحد معادلتين الاتزان الحراري للحسوس، وذلك كما في المعادلتين رقمي (٨، ٩) و (٨، ١٠). وسوف تزداد درجة الحرارة الداخلية في الأيام الدافئة عند حساب أقل معدل تهوية إلى مستوى أعلى من درجة الحرارة التصميمية الداخلية المختارة. وهكذا يتم اختيار ثاني أعلى درجة حرارة تصميمية داخلية. وغالباً ما يتم اختيار تلك الدرجة لتكون تقريباً من ٨ إلى ١٠ م° أعلى من أقل درجة حرارة تصميمية داخلية. ويتم حساب معدل التهوية الذي سوف يحافظ على هذا الاختيار عند تغير درجة الحرارة الخارجية من ٣ إلى ١٠ م°. ويمكن الحصول على تلك الزيادة في معدل التهوية باستخدام مراوح ذات ساعات متغيرة يتم التحكم فيها بواسطة جهاز حس حراري. ويمكن أيضاً الحصول على نتائج مماثلة باستخدام معدل تهوية ثابت مع ترك درجة الحرارة الداخلية تتذبذب كدالة في درجة الحرارة الخارجية.

مثال رقم ٨.

احسب معدل التهوية المتوسط لمبنى ذي أرضية مثقبة يحتوي على ٥٠٠ حيوان كما في المثال رقم ٣. افترض درجة حرارة تصميمية ثانوية مقدارها ٢٠ م° وأن فرق درجة الحرارة بين الداخل والخارج سوف يتغير من ٣ إلى ١٠ م°.

الحل

معدل التهوية للتحكم في درجة الحرارة باستخدام المعادلة رقم (٨، ١٠) :

$$V_s = [v / (Cp(t_i - t_o))] [Q_s - UA(t_i - t_o)]$$

وقيمة (Qs) عند ٢٠ م° ووزن للحيوان مقداره ٧٥ كجم:

$$= ١٢٦,٠ (ك. واط / حيوان) \times ٥٠٠ (حيوان)$$

$$= ٦٣ \text{ ك. واط}$$

ونجد من الخريطة السيكرومترية أن قيمة (٧) عند ٢٠°م و ٧٥% رطوبة نسبية:

$$= ٠,٨٤٥ \text{ م}^٣/\text{كجم}$$

ونجد بالنسبة لفرق درجة حرارة مقداره ١٠°م أن:

$$V_s = (٠,٨٤٥) \times (١٠ \times ١,٠٠٣٥) - (٦٣ \times ٠,٥٥) = ١٠ \times ٠,٥٥$$

$$= ٤,٨٤ \text{ (م}^٣/\text{ث)}$$

وبالمثل

$$(t_i - t_o) : ١٠ : ٩ : ٨ : ٧ : ٦ : ٥ : ٤ : ٣$$

$$V_s : ٤,٨٤ : ٥,٤٣ : ٦,١٧ : ٧,١٢ : ٨,٣٨ : ١٠,١ : ١٢,٨ : ١٧,٢$$

ويوضح الشكل رقم (٦, ٨) تلك النتائج.

مثال رقم ٩.

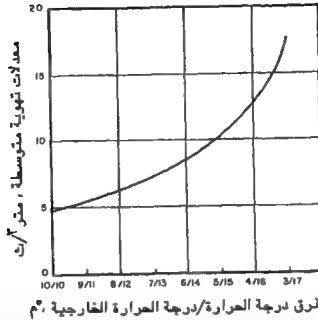
احسب درجة الحرارة الخارجية الناتجة عن استخدام عدة درجات حرارة داخلية مختارة، وذلك بفرض استخدام معدل تهوية متوسط مقداره ١٧ ، ٦ (م^٣/ث) كما في المثال السابق.

الحل

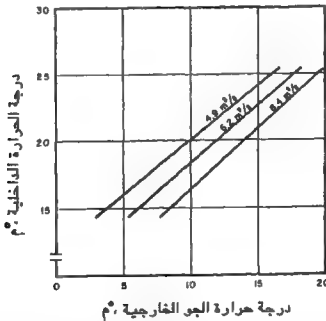
المطلوب في هذا المثال استخدام حل تكراري للمعادلة رقم (١٠, ٨) بالنسبة لفرق درجة الحرارة المطلوب.

t_i	١٥	١٧,٥	٢٠	٢٢,٥	٢٥
V	٠,٨٢٥	٠,٨٣٥	٠,٨٤٥	٠,٨٥٥	٠,٨٦٥
Q_s	٧٢	٦٧,٥	٦٣	٥٩,٠	٥٥
$t_i - t_o$	٨,٩٤	٨,٤٨	٨,٠	٧,٥٧	٧,١٤
t_o	٦,٠٦	٩,٠٢	١٢,٠	١٤,٩	١٧,٩

تهوية المنشآت الزراعية



شكل (٨،٦). معدلات التهوية المتوسطة لفصلي الخريف/الربيع لمبنى خنازير ذي أرضية صلبة يقع بالقرب من مدينة لافايت بولاية أنديانا. تم التحكم في درجة الحرارة الداخلية عند ٢٠°م.



شكل (٨،٧). درجة الحرارة الداخلية كدالة في درجة الحرارة الخارجية لثلاث معدلات تهوية ثابتة (خريف/ربيع) لمبنى خنازير ذي أرضية صلبة يقع بالقرب من مدينة لافايت بولاية أنديانا. وترتبط معدلات التهوية المختارة بالشكل رقم (٨،٦) عند درجة حرارة داخلية ٢٠°م.

ويوضح الشكل رقم (٨.٧) النتائج المتحصل عليها من المثال رقم ٩. وقد أوضحت النتائج أنه يمكن أن يتولد عن معدل تهوية متوسط مقداره ١٧، ٦ (م^٣/ث) درجات حرارة داخلية مقبولة في المدى من ١٥ إلى ٢٥ م^٣، وذلك عند استخدام درجات حرارة خارجية تقع ما بين ٦ و ١٨ م^٣. ويلاحظ أن سعة التهوية المطلوب استخدامها عند درجة حرارة خارجية ١٧ م^٣ تكون حوالي ثلث الكمية المتحصل عليها من المثال رقم ٨ والشكل رقم (٨، ٦) حيث درجة الحرارة الثابتة الداخلية المطلوبة ٢٠ م^٣.

ويمكن استخدام منحنيات الاتزان الحراري والرطوبي التي تم تطويرها في المثال رقم ٤ وترسيمها في الشكل رقم (٨، ١) عند اختيار معدل تهوية متوسط. فنجد على سبيل المثال عند فرض معدل تهوية متوسط مقداره (٨ م^٣/ث) أن هذا المعدل يحافظ على الاتزان الحراري عند درجة حرارة خارجية ٦ م^٣ من درجة الحرارة الداخلية (١٢-٦ م^٣). كما أنه يمكن فرض مستويات أخرى من التهوية في حالة ما إذا اعتبر أن هذا المستوى من فرق درجة الحرارة كبير للتحكم في درجة الحرارة في فصلي الربيع والخريف. ويعتبر هذا التحليل صالحاً فقط عند عدم تغير درجة الحرارة التصميمية الداخلية عن تلك المستخدمة في الحسابات الخاصة برسم المنحنيات. ولكن لن يكون الخطأ كبيراً في تقدير فرق درجة الحرارة بالنسبة لمدى من درجات الحرارة التصميمية الداخلية حوالي ١٠ م^٣. ويمكن رؤية ذلك في المثال رقم ٩ حيث يتغير فرق درجة الحرارة (٥-٥) فقط من ٩، ٨ م^٣ إلى ١، ٧ م^٣ مع استخدام معدل تهوية ثابت وعندما تتغير درجة الحرارة الداخلية من ١٥ إلى ٢٥ م^٣.

أقصى معدل تهوية (Maximum Ventilation Rate)

يجب زيادة معدلات التهوية في فصل الصيف وفي الفترات التي تكون فيها درجات الحرارة الخارجية أعلى من تلك المستخدمة مع معدل التهوية في فصلي الربيع والخريف. وتكون الزيادة المطلوبة في سعة التهوية أكثر اقتصادياً إذا ما تم الحصول عليها عن طريق الفتح اليدوي لحواجز تهوية كبيرة والاعتماد على التهوية الطبيعية. ويجب استخدام مراوح إضافية عند الرغبة في استخدام التهوية الميكانيكية. ويتم حساب السعة الهوائية الإضافية باستخدام المعادلة رقم (٨، ١٠) بنفس الأسلوب

المستخدم للحصول على معدل تهوية متوسط في المثال رقم ٨. وهناك طريقتان للحساب يمكن استخدام إحدهما. وتكون الطريقة الأولى عن طريق فرض فرق مقبول بين كل من درجة الحرارة الداخلية والخارجية. ويفترض على نحو نموذجي فرق درجة حرارة مقدارها من ١ إلى ٣ م ليكون أكثر قبولاً في الصيف.

وتكون الطريقة الأخرى عن طريق إيجاد الارتفاع في درجة الحرارة داخل مبنى بالنسبة لدرجة حرارة صيفية مختارة باستخدام معدلات تهوية متعددة. ويمكن اختيار معدل تهوية مقبول عن طريق رسم العلاقة بين الارتفاعات في درجة الحرارة مع معدلات التهوية.

مثال رقم ١٠

احسب أقصى معدل تهوية لمبنى سعة ٥٠٠ حيوان ذي أرضية خرسانية كما في المثال رقم ١. افترض درجة حرارة تصميمية خارجية مقدارها ٣٠ م مع رطوبة نسبية ٦٠٪. افترض أيضاً أن حجم البيت ١٠٠٠ م^٣.

الحل

تستخدم المعادلة رقم (١٠، ٨) بعد تعديلها لحساب فرق درجة الحرارة كالتالي:

$$(ti - to) = (v \cdot Qs) / (Vs \cdot Cp + v \cdot UA)$$

ويمكن التنبؤ بقيمة (SHL) من الجدول رقم (١، ٧) عند ٣٠ م و ٧٥ كجم كالتالي:

$$SHL = ٠,٥ \text{ واط/كجم}$$

$$Qs = ٠,٥ \text{ (واط/كجم)} \times ٧٥ \text{ (كجم/حيوان)} \times ٥٠٠ \text{ (حيوان)}$$

$$= ١٨,٨ \text{ كيلوواط}$$

والحجم النوعي (v) - من الخريطة السيكرومترية - عند درجة حرارة ٣٠ م و ٦٠٪ رطوبة نسبية ٨٨، ٠ (م^٣/كجم).

ونجد بالنسبة لمعدل التهوية ٢٥، ٠ تغير هوائي/دقيقة - أو واحد تغير حجمي لكل ٤ دقائق - أن:

$$٧٥ = (١٠٠٠ \text{ م}^٣ / ٤ \text{ دقائق}) \times (١ \text{ دقيقة} / ٦٠ \text{ ث})$$

$$١٧ = ٤,١٧ \text{ (م}^٣/\text{ث)}$$

$$(ti - to) = (١٨,٨ \times ٠,٨٨) / (١٧) = (١٠,٥٥ \times ٠,٨٨ + ١,٠٠٣٥ \times ٤,١٧)$$

$$= ٣,٦ \text{ م}$$

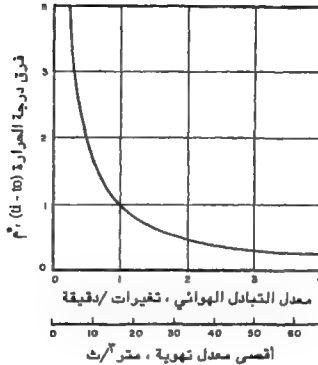
وبالمثل نجد بالنسبة لمعدلات التهوية الأخرى:

معدلات التغير الهوائي

٤	٢	١,٠	٠,٥	٠,٢٥	
٠,٢٥	٠,٤٩	٠,٩٦	١,٩	٣,٦	ti-to

ويوضح الشكل رقم (٨,٨) بيانياً تلك النتائج. ويتضح من الشكل أن الزيادة المناظرة لفرق درجة الحرارة عند سعة تهوية أقل من واحد (تغير حجمي على الدقيقة) تكون كبيرة نسبياً. والعكس صحيح عند استخدام معدل تهوية أعلى من واحد تغير حجمي في الدقيقة، ولكن مع بعض التحسينات الطفيفة في فرق درجة الحرارة وخاصة بالنسبة للتغيرات الكبيرة في سعة التهوية. ونجد بالنسبة لهذا المثال أن أفضل مستوى مرغوب من التهوية الصيفية يكون في حدود واحد تغير حجمي في الدقيقة. ويحافظ هذا المعدل على درجة الحرارة الداخلية في حدود ١ م تقريباً بالنسبة لدرجة حرارة الجو. ويعتبر معدل تغير هوائي مقداره ٠,٣٣ في الدقيقة كافياً للمحافظة على ظروف داخلية في حدود ٣ م أعلى من درجة الحرارة الخارجية. ولكن، قد تتيح أي زيادة طفيفة في سعة التهوية عن هذا المستوى إلى تولد تأثير إيجابي على مستوى درجة الحرارة، وقد يوصى بذلك. ويوصى أيضاً بالنسبة لهذا المثال باستخدام سعة تهوية في حدود ما بين ٠,٧٥ و ١,٢ تغير حجمي في الدقيقة أو من ١٣ إلى ٢٠ (م³/ث).

ويمكن تقييم تأثير كثافة التربية والأساليب الإدارية وبدائل استخدامات المواد الإنشائية للمباني على حساب أقل معدل تهوية، وذلك عن طريق الطرق التحليلية التي تم وصفها. ونظراً لصغر فرق درجات الحرارة بين الداخل والخارج، فإن مدى كفاءة العازل المستخدم في المبنى ليس ذا أهمية معنوية في فصل الصيف كما في الظروف الجوية الباردة.



شكل (٨، ٨). فرق درجة الحرارة بين الداخل والخارج لمعدلات تبادل هوائي مختلفة بالنسبة لـ ١٠٠٠ م³ من مبنى خنازير يقع بالقرب من مدينة لافاييت بولاية أندمانا، يفترض ظروف خارجية ٣٠ م° ورطوبة نسبية ٦٠٪.

معدلات تهوية قياسية

(STANDARDIZED VENTILATION RATES)

تعتبر التهوية الميكانيكية لباني الإنتاج الحيواني المغلقة من الأساليب الشائعة الاستخدام لعدة عقود في الإنتاج الزراعي للولايات المتحدة. وقد أصبح مرور الوقت اختيار كثافة التربية داخل المبنى وجودة الإنشاءات والأساليب الإدارية من العوامل المهمة التي تؤثر على معدل إنتاج كل من الحرارة والرطوبة. وقد أصبحت معدلات التهوية المطلوبة لمعظم المباني الزراعية قياسية ومدونة في (MWPS). ويحتوي الجدول رقم (٨، ٣) على معدلات تهوية أماسية يوصى باستخدامها بالنسبة للأنواع والأحجام المختارة من الحيوانات. ويجب استخدام تلك المعدلات فقط للإرشاد كنقطة بداية لإجراء تحليلات محددة، وذلك كما تم وصفه في هذا

الفصل . وتعتبر تلك المعدلات أيضاً قيم ممثلة فقط تتيح عند استخدامها التحكم بكفاءة في كل من الحرارة والرطوبة المتولدتين داخل مبنى محدد . ويتطلب تقييم البدائل من مواد الإنشاء والأساليب الإدارية وكثافة التربة التطبيق للعلاقات المدونة في هذا الفصل بالنسبة لنظام إنتاجي محدد .

المراجع

- 1 ASAE. 1981-82. Agricultural Engineers Yearbook. ASAE Data 270.4, pp. 373-391.
- 2 ASHRAE. 1981. Handbook of fundamentals. Table 1, Chapter 6, pp. 6.3-6.4.
- 3 Bond, T. E., C. F. Kelly and H. Heitman, Jr. 1952. Heat and moisture loss from swine. AGRICULTURAL ENGINEERING 33(3):148-152.
- 4 Bond, T. E., C. F. Kelly and H. Heitman, Jr. 1959. Hog house air conditioning and ventilation data. TRANSACTIONS of the ASAE 2(1):1-4.
- 5 Harmon, D. J., A. C. Dale and H. W. Jones. 1968. Effect of floor type on required moisture-vapor removal rate from swine finishing houses. TRANSACTIONS of the ASAE 11(1):149-152.
- 6 Midwest Plan Service (MWPS). 1980. Structures and environment handbook. Ventilation applications, pp. 373-391.

نظم تهوية منشآت الحيوانات المزرعية والدواجن*

(VENTILATION SYSTEMS FOR LIVESTOCK STRUCTURES)

- أساسيات تجهيزات عامة • مواضع تركيب وتشغيل
- تجهيزات التهوية • مراحل معدلات التهوية • نظم
- التهوية الطاردة • نظم التهوية الضاغطة • التهوية ذات الضغط المتبادل • نظم التهوية الطبيعية

تعتمد المحافظة على الظروف البيئية المرغوبة في مباني الحيوانات المزرعية والدواجن على تصميم وأداء نظم التهوية. ولا بد وأن تُزوّد هذه النظم المعدلات الصحيحة من سريان الهواء في توزيع منتظم لمواجهة الاحتياجات لكل تطبيق على حدة. ويتطلب اختيار نظام تهوية صحيح فهم لأساسيات سريان الهواء المتضمن والاستجابات الفسيولوجية للحيوانات وتوصيات خاصة بنظم التحكم في التهوية وكذلك الاعتبارات الإدارية والاقتصادية. وتوجد هذه الأساسيات والتوصيات معنونة في فصول أخرى في هذا الكتاب. ويحتوي هذا الفصل على توصيات خاصة بتكامل هذه العوامل في أداء نظم التهوية مع بعض الأمثلة التوضيحية.

ويوجد نوعان من نظم التهوية المستخدمة في منشآت الحيوانات المزرعية والدواجن، فالتهوية إما أن تكون تهوية طبيعية أو ميكانيكية. ويمكن أخذ نظم التهوية الطبيعية في الاعتبار بالنسبة للأنواع الآتية من إيواء الحيوانات المزرعية

* ميلو أ. هيلكون : جامعة ولاية داكوتا الجنوبية - بروكينس

ينام ل. ديجرس : جامعة ولاية كالورنيا الشمالية - رالف

آرثر ج. ميولهينج : جامعة إلينوي - أربانا

والدواجن^(١): (أ) الإيواء الحر للماشية الحلابة، (ب) حظائر المراعي للماشية الحلابة والأبقار والأغنام، (ج) مباني غو الخنازير، (د) حظائر العجول الصغيرة، و(هـ) حظائر الأبقار ذات الأرضية المثقبة. وقد تتضمن تلك المباني استخدام التهوية الميكانيكية عند الرغبة في المحافظة على وسط دافئ والوصول إلى الظروف التالية: (أ) أرضية جافة أو فرشاة جافة، أو الاثنين معاً، (ب) توزيع منتظم لدرجات الحرارة في كل المواضع التي توجد بها الحيوانات، (ج) الإقلال من التغيرات السريعة والتذبذبات الكبيرة في درجة حرارة الوسط، و(د) منع حركة الهواء البارد من المرور من فوق الحيوانات. وتتكون نظم التهوية الميكانيكية من مراوح وأجهزة تحكم، وفي الغالب أجهزة أخرى لتدفئة أو تبريد الوسط. وعامة تستخدم هذه التجهيزات لتوليد سريان هوائي في اتجاه واحد خلال المنشأة مع خلط ودوران داخلي جيد لإتاحة المستويات المطلوبة والتوزيع الجيد للظروف البيئية على مدى واسع من الظروف المناخية.

وتوجد ثلاثة أنواع من نظم التهوية الميكانيكية التي تعتمد على الوسائل المستخدمة في الحصول على حركة الهواء: (أ) نظام الطرد، (ب) نظام الضغط، و(ج) نظام الضغط المتعادل. وتستخدم نظم الطرد مراوح تسحب الهواء إلى خارج المبنى مما يقلل من الضغط الداخلي، كما يحدث سريان للهواء من خلال فتحات التهوية. وتدفع نظم الضغط الميكانيكي الهواء إلى داخل المبنى ثم يخرج الهواء بعد ذلك من المخارج. وتتضمن نظم التهوية ذات الضغط المتعادل مراوح ذات أداء مزدوج بحيث تسحب لحظياً الهواء الداخلي إلى الخارج، ثم تدفع الهواء النقي إلى داخل المبنى، مما يحدث فرق ضغط في نظام التهوية وليس في مبنى الحيوان.

أساسيات تجهيزات عامة

(GENERAL EQUIPMENT PRINCIPLES)

يمكن استخدام نظم التهوية الطبيعية والتي كثيراً ما تستخدم في الحالات التي تكون دقة تهوية البيئة غير ذات ضرورة. ويمكن أن تستخدم مع منشآت الحيوانات من النوع ذات الواجهة المفتوحة أو النصف مغلقة. وتتضمن المركبات الرئيسية فتحات

إفريزية وحافية والراح التهوية الحائطية وتجهيزات وأدوات التحكم لتعديل وضع فتحات التهوية مع تغير الظروف المناخية.

وتتضمن نظم التهوية الميكانيكية مراوح مع أجهزة تحكم آلية ووسائل تحكم في درجة الحرارة وساعات وقنية لإتاحة مستويات متعددة من سريان الهواء على حسب درجة الحرارة والعوامل الأخرى المطلوب تنظيمها. ويمكن على حسب ظروف التشغيل وحالة المناخ استخدام أجهزة أخرى مثل المبردات التبخيرية ومبردات الفريون والدفايات وأجهزة المحافظة على الطاقة كجزء مكمل للتهوية الميكانيكية. وقد نوّقت خصائص هذه الأجهزة في الفصل الرابع "وسائل وأجهزة التحكم في التهوية".

مواضع تركيب وتشغيل تجهيزات التهوية

(VENTILATION EQUIPMENT LOCATION AND OPERATION)

يجب تركيب مراوح الطرد بقدر الإمكان بعيداً عن الأبواب والشبابيك غير المحكمة الغلق، وبعيداً عن اتجاه الرياح الشتوية السائدة. أما إذا كان من الضروري - لأسباب إنشائية أو أي عوامل أخرى - تركيب المراوح في الجانب المواجه للرياح، فإنه من المهم اختيار مراوح ذات معدلات تغطي السعة المطلوبة ضد ضغط إستاتيكي ٣، سم (١٨ بوصة). ويجب أن تزود المروحة بمحرك كهربائي ذي حجم كاف لمقاومة سرعة للرياح ١٣،٤ م/ث (٣٠ ميل/ساعة). وتعاود هذه السرعة ضغط إستاتيكي ١،١ سم ماء (٤،٤٣ بوصة ماء) بدون التحميل الزائد عن سعة المحرك^(٣).

ويجب أن يتم تركيب المروحة أيضاً في أبرد المواضع داخل المبنى. وقد تكون هذه المواضع الأماكن التي توجد بها أقل كثافة من الحيوانات أو الأماكن التي توجد بها الحيوانات الصغيرة. ويميل الهواء الدافئ عند تشغيل المروحة الطاردة إلى الاتجاه صوب المروحة ومنه إلى الخارج.

ولا يعتبر وضع المروحة في الاتجاه الراسي على الحائط الجانبي عاملاً مهماً.

وفي الغالب يتم تركيب المراوح على ارتفاع عدة أقدام فوق مستوى الأرضية، وذلك للإقلال من المشاكل المرتبطة بفرشة الأرضية وريش الدواجن والقش المدفوع جهة المروحة، ومن رذاذ الماء المتطاير جهة المروحة أثناء تنظيف الأرضية. ولا يعتبر موضع تركيب المروحة حرجاً من وجهة نظر انتظامية التهوية الفعالة.

وتعتبر مواضع تركيب المراوح مع نظم الضغط حرجة للغاية؛ نظراً لارتفاع سرعة الهواء عند المروحة مع ضرورة أن يكون الهواء المدفوع إلى داخل المبنى منتظم التوزيع. وعلى ذلك يتوقف اختيار مواضع المراوح الضاغطة على نوع النظام. وسوف يتم مناقشة ذلك الموضوع بمزيد من التفاصيل في هذا الفصل.

ويوصى بتهوية الحيز أسفل الأرضية المثقبة في حالة ما إذا كان المبنى يسمح بتخزين روث البهائم في خزان أسفل الأرضية. ومن الشائع استخدام مروحة صغيرة تعمل باستمرار في الشتاء لطرد هواء ذلك الحيز، وبالتالي التخلص من بعض الغازات الضارة، وكذلك المساعدة في التحكم في الروائح الكريهة. وتتم عملية طرد الغازات من خزان الروث بكفاءة أعلى في المباني الكبيرة حيث توجد أكثر من مروحة تعمل باستمرار حول الخزان^(٤).

ويجب وضع الثرموستات وأجهزة الحس المستخدمة في التحكم في التهوية بالقرب من مركز المساحة المهيأة. ويجب مراعاة عدم تعرض أجهزة التحكم لأي تلفيات، وذلك بوضعها في أماكن مناسبة. فيجب مثلاً عدم وضع أجهزة التحكم بالقرب من عوادم الدفايات والإضاءة وأنابيب المياه والتيارات الباردة أو على الحوائط الخارجية أو بالقرب من أي أجسام أخرى، بحيث يمكن أن تؤثر على الأداء. ونظراً لوجود انحدار رأسي في توزيع درجة حرارة الهواء داخل المبنى، فإنه ينصح بوضع الثرموستات عند مستوى الحيوانات.

مداخل ومخارج الهواء (Air Inlets and Outlets)

يتوقف معدل التبادل الهوائي في مبنى ما على سعة التهوية. فتعتمد انتظامية توزيع الهواء - الفصل الرابع - بالنسبة للنظم الطاردة خلال مبنى ما أساساً على

مكان وتصميم وحجم المداخل . ولا يوجد تأثير يذكر لموضع المروحة على توزيع هواء التهوية . وتستخدم فتحات المداخل في معظم نظم التهوية الطاردة حول محيط السقف باستثناء بالقرب من المروحة . ويوصي ^(٤) (MWPS) باستخدام فتحة مدخل مستمرة بالقرب من السقف بطول أحد جوانب المباني التي يقل عرضها عن ١٢,٢ م - الشكل رقم (٩, ١) - مع وجود المراوح مركبة على الجانب المقابل . ويجب استخدام فتحة مدخل مستمرة في مركز السقف مع وجود المراوح على جانبي الحوائط الجانبية بالنسبة للمباني ذات العرض من ١٢,٢ إلى ١٥,٢ م . ويتم تركيب مدخلي تهوية مستمرين في السقف بالنسبة للمباني التي عرضها أكبر من ١٥,٢ م ^(١).

ويجب أن يعتمد حجم مداخل الهواء على سعة المراوح . فيجب تصميم وإنشاء مداخل الهواء بحيث يتولد فرق ضغط ٢ سم ماء (٠,٨ بوصة ماء) تقريباً عند المدخل . ويحدث ذلك الفرق في الضغط سرعة للهواء حوالي ٣,٥ (م/ث)، والتي تعتبر ضرورية للحصول على توزيع جيد للهواء . وتتطلب الكميات الكبيرة من سريان الهواء في الصيف - بالمقارنة بالشتاء - الاحتياج إلى ضبط مداخل الهواء للمحافظة على سرعة دخول ملائمة وعلى أداء جيد لنظام التهوية . وتغير الطرق المستخدمة في المحافظة على سرعة دخول مناسبة للهواء ، ولكن يمكن استخدام أي من هذه الطرق إذا كان التركيب ملائماً . وتتضمن تلك الطرق ^(٥) :

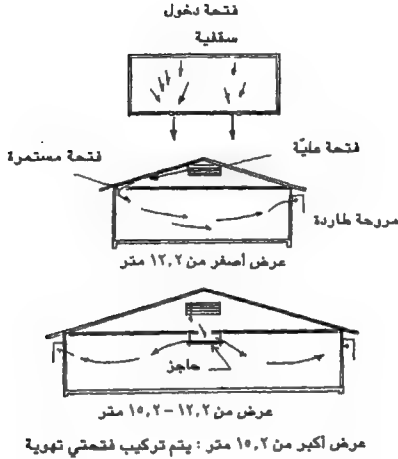
١ - فصل مداخل الشتاء عن مداخل الصيف . وسوف يؤدي ذلك إلى سحب الهواء من العلبة في الشتاء والسحب مباشرة من الخارج في الصيف ، الشكل رقم (٩, ٢) .

٢ - وجود مثبت للهواء يعمل بالجاذبية عند المدخل ، الشكل رقم (٩, ٣) .

٣ - وجود مفصلة تحكم يدوية أو ألواح تحكم رأسية مع فتحات المداخل في السقف .

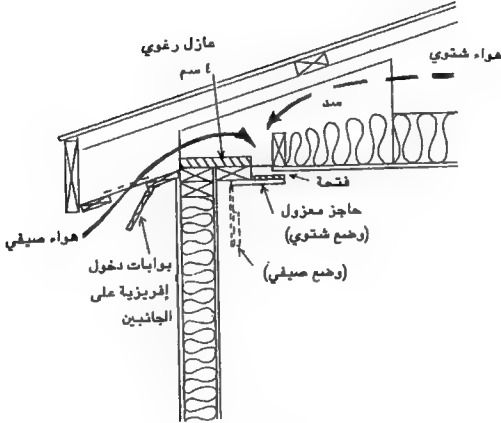
٤ - وجود ألواح تحكم ميكانيكية تحت فتحات المداخل السقفية .

و يتضمن التخطيط لمداخل هواء نقي اعتبارات مهمة أخرى منها : (أ) إلغاء الفتحات غير المخططة والتي قد تتداخل مع مداخل الهواء المصممة ، وخاصة



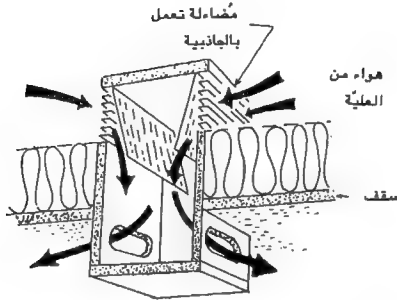
شكل (١, ٩). فتحات سقفية مركزية وإفريزية لتنظيم تهوية طاردة

بالنسبة للمناطق المعرضة لظروف جوية باردة، (ب) استخدام حواجز مغطاة بطبقة عازلة تحت المداخل بالنسبة للمناطق الباردة لتوجيه الهواء، و(ج) دفع هواء الشتاء من خلال العلبة لتقليل تأثير الرياح والسماح بعملية تلطيف للهواء قبل دخوله إلى منطقة الحيوانات. ويجب تركيب مقياس لسرعة الهواء ملاصق لونش تشغيل الحواجز، وذلك للمساعدة في ضبط حواجز التوجيه فوق مدخل الهواء. ويعتبر



شكل (٢، ٩). فتحة إفريزية للاستخدام الصيفي والشتوي

هذا الجهاز جزءاً من النظام إذا كان نظام التحكم في حركة الحواجز يعمل آلياً. ويفضل الحصول على ضغط إستاتيكي ٢ سم ماء (٠.٨ بوصة ماء)، ولكن قد يتعذر ذلك في الأجواء الباردة عندما تنخفض معدلات الهواء المستخدمة. وإذا كانت تلك هي الحالة، فإنه لن يتم خلط الهواء عن طريق الدفع النافوري للهواء من خلال مداخل الهواء. وقد يكون من الأفضل استخدام مراوح تقليب أو أنابيب خلط. ويتم تزويد حوالي ٠.٠٥ (م^٣/ث) لكل م^٢ من مساحة الأرضية بالنسبة

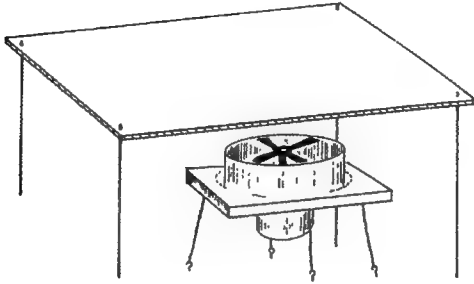


شكل (٩, ٣). فتحة سقف مع مضخة ذات ضغط ذاتي

لعمليات خلط وتقليب للهواء. ويتم تعليق مراوح صغيرة في السقف تدفع مخلوط الهواء إلى حاجز معلق أفقياً أسفل المروحة في غط إشعاعي، الشكل رقم (٩, ٤). ويمكن استخدام مروحة واحدة فقط بالنسبة لغرفة صغيرة، ولكن قد يحتاج إلى عدة مراوح صغيرة بالنسبة للغرف المستطيلة الطويلة.

وتكون الطريقة الأخرى لعملية خلط ومزج الهواء في غرفة أو مبنى عن طريق تجميع أنبوبة بلاستيكية مع مروحة. ويضمن هذا النظام انتظام توزيع الهواء الدافئ خلال الحيز المغلق بالإضافة إلى عملية المزج المتوافرة بواسطة المروحة المتواصلة التشغيل.

وتدفع المراوح الضاغطة الهواء إلى داخل المبنى مسببة ضغطاً موجباً. ويتطلب هذا النوع من نظم التهوية أيضاً وجود مداخل أو حواجز مصممة جيداً في مقدمة المراوح لمنع التيارات الهوائية. ويوضح الشكلان رقماً (٩, ٥) و (٩, ٦) مواضع تركيب المراوح ذات نظم التهوية الموجبة. ويعتبر استخدام أي ماسورة مفردة



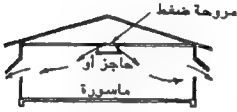
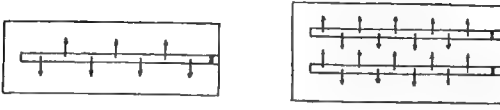
شكل (٤، ٩) . مروحة تقلاب وخلط معلقة في السقف

أوحاجز مركزي كافياً بالنسبة للمباني ذات العرض حتى ١٢,٢ م، بينما تحتاج المباني ذات العرض أكبر من ١٢,٢ م إلى حواجز على مسافات حوالي ٦,١ م، الشكل رقم (٥، ٩). ويجب أن تكون سرعة دخول الهواء مع هذا النظام مماثلة للسرعات الموصى باستخدامها بالنسبة لنظم التهوية سواء الموجبة أو السالبة.

مراحل معدلات التهوية

(STAGING OF VENTILATION RATES)

تتغير متطلبات معدلات التهوية من أقل قيمة لها في الأجواء الباردة إلى عدة أضعاف تلك القيمة في الأجواء الحارة. ويجب تزويد أقل معدل تهوية باستخدام مروحة ذات سرعة واحدة تعمل باستمرار أو باستخدام مروحة ذات سرعات متغيرة، وذلك للمحافظة على مستوى الرطوبة داخل المبنى في الأجواء الباردة.

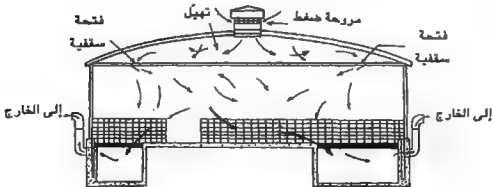


مراوح ضغط

عرض أكبر
من ١٢.٢ مترعرض أصغر
من ١٢.٢

عرض المباني :
تركب مواسير أو حواجز المراوح على مسافات
حوالي ٦,١ متر من بعضها البعض

شكل (٩,٥). مواضع تركيب المراوح والمداخل لنظام تهوية ضاغط



شكل (٩,٦). نظام تهوية ضاغط من خلال العلية

ويزداد معدل سريان الهواء إلى أقصى قيمة له في الأجواء الحارة، وذلك للتخلص بقدر الإمكان من الحرارة، ولتوفير حركة جيدة للهواء حول الحيوانات. وقد تم مناقشة طرق حساب معدلات التهوية الملائمة والقياسية والموصى باستخدامها في الفصل السابق. ويفضل لمنع التغيرات السريعة في درجات الحرارة زيادة أو خفض معدلات التهوية على مراحل صغيرة متعددة، بدلاً من الزيادة الكبيرة مرة واحدة. ويجب ضبط الثرموستات بالنسبة لنظام مراوح متعدد ليكون في حدود من ١ إلى ٢ م°.

ويمكن توفير مدى من السعات الهوائية بالنسبة لنظام التهوية بعدة طرق: (أ) مروحة صغيرة تعمل باستمرار لتوفير أقل معدل تهوية بالإضافة إلى مراوح كبيرة تعمل أو يتم فصلها بواسطة الثرموستات على مراحل عند ارتفاع أو انخفاض درجات الحرارة، (ب) مروحة أو مراوح متغيرة السرعات، مصممة لتزويد أقل معدل سريان عند أقل سرعة مروحية ومتصلة مع مراوح أخرى بواسطة ثرموستات، وذلك للإبقاء بالزيادات المرحلية من معدلات التهوية. وتكون المراوح النموذجية ذات السرعات المتغيرة لها القدرة على زيادة معدل سريان الهواء آلياً على مراحل تبدأ من ٢٠٪ من أقصى سعة للمراوح. ويجب أخذ الاحتياطات بمراعاة عدم زيادة معدلات سريان الهواء عند تشغيل نظم التدفئة. ويجب أيضاً أخذ الاحتياطات لحماية المراوح من ضغوط الرياح الخارجية عند تشغيل المراوح على سرعات منخفضة؛ نظراً لأن زيادة الضغط الإستاتيكي سيكون له الأثر الكبير في خفض معدل السريان عند التشغيل على سرعات منخفضة، (ج) استخدام مروحة ذات سرعة ثابتة يتم التحكم فيها بواسطة مؤقتة نسبية أو ذات مراحل. ويسمح هذا النظام باستخدام مدى واسع من معدلات التهوية، ولكنه نظام "تشغيل - إيقاف" مما قد يسبب تذبذبات كبيرة في درجات الحرارة أو تولد تيار - خلفي عند المداخل. (د) مروحة ذات سرعة واحدة متصلة بثرموستات تحكم وحواجز هوائية أو مشطاطات تعمل آلياً للحد من معدل خروج الهواء من المروحة. ويمكن إزالة أحد هذه الحواجز أو تثبيتها مفتوحة للمحافظة على معدل سريان مستمر للهواء^(٥). وقد تم وصف أحد عشر طريقة لتطوير سعة التهوية. وتم تلخيص خصائص الأداء لكل

طريقة في (1) 821-1981 ASAE Agricultural Engineers Yearbook. ويجب ضبط ثرمومترات تشغيل المراوح التي تعمل على مراحل - مراوح تزويد معدل سريان هواء أعلى من أقل معدل سريان مستمر - للعمل على مراحل متزايدة تقريباً من ١ إلى ٢ م. ويجب أخذ الاحتياط بعدم زيادة معدل التهوية عند تشغيل الدفايات .

نظم التهوية الطاردة

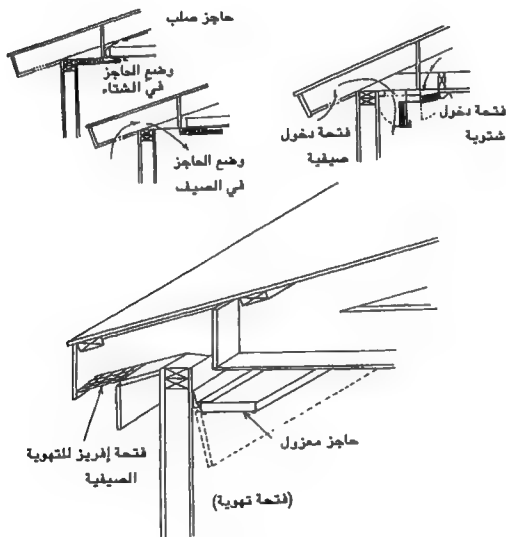
(EXHAUST VENTILATION SYSTEMS)

تعتبر نظم التهوية الطاردة من أكثر أنواع نظم التهوية الميكانيكية شيوعاً. وترتبط التهوية أساساً في نظم التهوية الطاردة بتصاميم ومواضع المداخل. وسوف يتم تقدير الخصائص لنظم التهوية الطاردة بالنسبة للأنواع التالية: (أ) مدخل سقف - حائط، (ب) فتحة مدخل سقفية، (ج) مدخل أنبوبي.

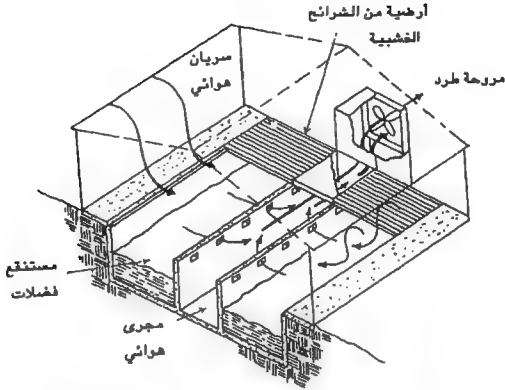
مدخل سقف - حائط (Ceiling-Wall Inlet)

يوضح الشكل رقم (٧، ٩) عملية ضبط المداخل من النوع سقف- حائط بالنسبة لفصلي الصيف والشتاء. ويتم عملية تلطيف هواء التهوية في الشتاء بسحب الهواء من خلال العلية أو توجيه هواء الشتاء البارد إلى فتحة مستمرة بطول السقف. وسوف تسحب نافورة الهواء الهواء الدافئ من الحيز إذا تمت المحافظة على سرعة دخول ملائمة تقريباً ٣,٥ (م/ث)، مما يتيح توزيع جيد خلال المبنى وخفض التيارات الباردة على الحيوانات في المباني ذات العرض حتى ١٢,٢ م. وعادة يتم تركيب المراوح بالنسبة للمباني ذات العرض حتى ١٢,٢ م على الحائط المقابل. أما بالنسبة للمباني التي يتم تخزين روث البهائم تحت الأرضية المثقبة، فإنه يمكن استخدام المراوح التي تعمل باستمرار لتوفير أقل معدل تهوية في طرد هواء العادم من حفرة الروث، الشكل رقم (٨، ٩). ويتم ضبط فتحة المدخل بالنسبة للتشغيل الصيفي بحيث يتم سحب الهواء من الخارج فوق الحاجز ثم توجيه إلى أسفل الحائط الخارجي. ويحد ذلك من عملية تلطيف الهواء النقي، مما يعزز راحة الحيوانات والدواجن بواسطة التبريد بالحمل. ويحتاج حاجز المدخل الشتوي

في الأجواء الباردة إلى تغطيته بطبقة عازلة لحفض مشاكل التكثيف الناجمة من الظروف الرطبة الدافئة في المبنى ، وكذلك من تأثير التبريد الناتج من هواء التهوية الشتوي .



شكل (٩،٧) . فتحات إفريزية مستمرة

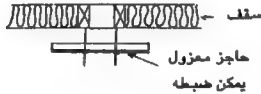


شكل (٩، ٨). نظام تهوية طارد مع تهوية مستنقع الفضلات باستخدام فتحات إفرزية من خلال ماسورة مركزية.

فتحة مدخل سقفية (Ceiling Slot Inlet)

يمكن استخدام فتحة مدخل مركزية مستمرة وذات حاجز - الشكل رقم (٩، ٩) - وذلك بالنسبة للمباني حتى عرض ١٢، ٢ م. ويتم استخدام مدخلين مستمرين بالنسبة للمباني ذات العرض أكبر من ١٢، ٢ م. ويتم تركيب المراوح على جانبي المبنى. ويمكن طرد أقل معدل تبادل هوائي مستمر من خزان المخلفات، الشكل رقم (٩، ٨). ويمكن بالنسبة للتهوية الصيفية استخدام فتحات الإفريز السقفية، والمماثلة لما تم وصفه في المقطع السابق أو ألواح تهوية مركبة في الحائط. ويجب عدم تركيب فتحات إفريز على مسافة أقل من ٣ م من فتحات العادم من كل جانب. ويجب أيضاً تركيب مواد عازلة على فتحات المداخل السقفية، كما يجب ضبط المداخل بحيث تكون سرعة دخول الهواء حوالي ٣،٥ (م/ث). وتعتبر

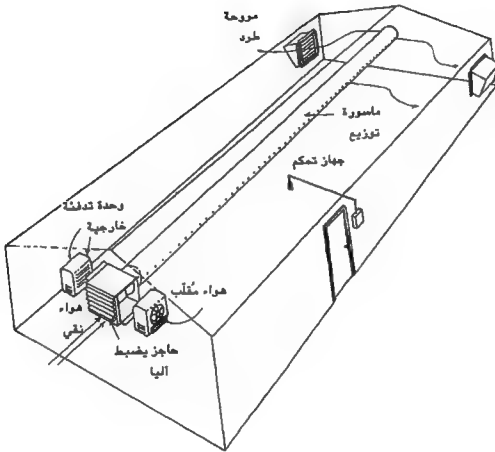
عملية ضبط مدخل مركب في السقف للمحافظة على السرعة عند هذا المستوى- مع تغير معدل السريان- أصعب من فتحة الإقريز الحائطي. ويجب توفير مساحة حرة لدخول الهواء من الخارج إلى العلبة في حدود من ٣، إلى ٤، م^٢ لكل (م^٣/ث) من سعة المروحة.



شكل (٩، ٩). فتحة مدخل في مركز السقف، ذات حاجز

مدخل أنبوبي (Tube or Duct Inlet)

يتكون نظام المدخل الأنبوبي من أنبوية ومروحة تقليب ومروحة طاردة. وعامة يكون هذا النظام متوفرًا كنظام تجاري، الشكل رقم (٩، ١٠). وتعمل مروحة التقلب باستمرار، ويجب أن تكون سعة مروحة التقلب كافية ومساوية لأقل معدل تهوية شتوي. ويتم سحب الهواء النقي من فتحة التهوية التي تعمل إما يدويًا أو ميكانيكيًا طالما كانت مراوح الطرد تعمل. ويتم خلط الهواء النقي مع هواء التقلب ثم يوزع داخل المبنى من خلال فتحات في الأنبوية. ويتم تشغيل عدد أكبر من مراوح الطرد عند زيادة معدل الهواء النقي المطلوب، كما تسمح فتحات تهوية أخرى بدخول الهواء النقي إلى المبنى. ويتم توزيع مراوح الطرد، والتي تعمل بواسطة الثرموستات عند ارتفاع درجات الحرارة، حول محيط المبنى؛ نظرًا لدخول بعض الهواء الخارجي في فترات التهوية العظمى في الصيف إلى المبنى بدون



شكل (١٠, ٩). نظام أنبوية تهوية ضاغطة مع دفايات مساعدة

المرور من خلال الأنبوبة. ويمكن تركيب المراوح في مركز المبنى بالنسبة للمباني الطويلة مع وجود فتحات مداخل الهواء عند الحوائط النهائية للمبنى. ويمكن اعتبار هذا النظام كنظام تهوية ضاغطة؛ نظراً لأن مروحة التقلب تزيد من الضغط في الأنبوبة.

ويمكن إضافة نظم التبريد التبخيري إلى نظام التهوية، وذلك للإقلال من الضغط البيئي الصيفي. ويوضح الشكل رقم (١١، ٩) استخدام مبرد تبخيري مع نظام تهوية أنبوبي. ويتم عند معدلات التهوية الصيفية المرتفعة توزيع الهواء المسحوب من خلال مسادات البخار إلى المبنى مباشرةً وبدون المرور في الأنبوبة.

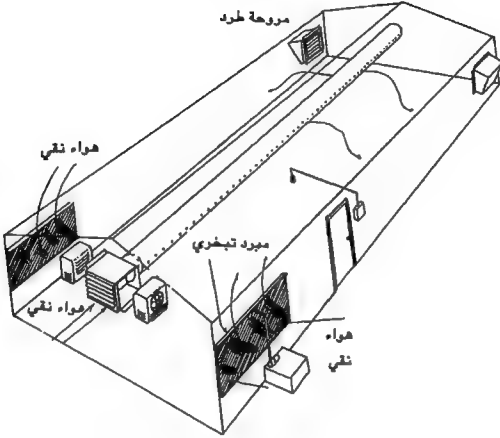
نظم التهوية الضاغطة

(PRESSURE VENTILATION SYSTEMS)

يمكن استخدام مراوح في السطح أو السقف أو الحوائط أو في أنبوبة كمداخل لنظم التهوية الضاغطة. ويمكن توفير مخارج في المبنى لطرد الهواء، وذلك كما في الشكلين رقمي (٥، ٩) و (٦، ٩). ويتم التحكم مبدئياً في توزيع الهواء عن طريق اختيار مواضع المراوح ومداخل الهواء. وتكون المساحات الموصى باستخدامها للمخارج من ٣، ٤ إلى ٥ م^٢ لكل (م^٢/ث) من سعة المروحة. ولا يعتبر اختيار موضع المخارج حرجاً، ولكن غالباً ما تكون تلك الفتحات موزعة بانتظام حول حوائط المبنى.

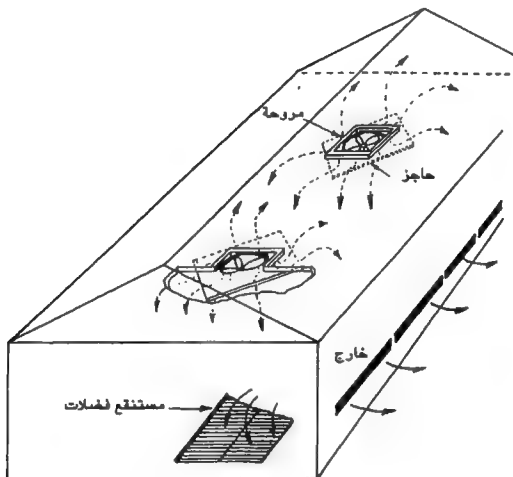
نظم المداخل السقفية (Ceiling Inlet Systems)

يوجد عامة نوعان من نظم المداخل السقفية ذات الضغط. ويستخدم أحد هذه النظم المراوح المركبة على السطح لدفع الهواء إلى العلبة من خلال حواجز وسقف وفتحات المداخل إلى المبنى ثم إلى الخارج من خلال فتحات حول محيط المبنى أو من خلال الأرضية المثقبة عبر مخارج خزان الروث، الشكل رقم (٥، ٩). ويجب



شكل (١١، ٩). نظام أنبوية تهوية ضاغطة مع تبريد تبخيري

الاهتمام مع هذا النظام بإنشاء العلية والسطح، وذلك لتقليل التسرب من العلية إلى الخارج. ويتم تركيب المراوح في النظام الثاني في مواضع عند مستوى السقف. ويتم سحب الهواء إلى العلية ثم دفعه إلى المبنى إما من خلال مدخل في السقف على شكل صندوق داخله حواجز، أو من خلال أنبوية مدخل مثقبة ومستمرة، الشكل رقم (١٢، ٩). ويوصى بأن يكون عرض الحاجز الهوائي ضعف قطر المروحة (D) وأن يوضع الحاجز على مسافة حوالي (٨\٥) القطر أسفل السقف. وللحصول على أقصى انتظامية لتوزيع الهواء، فإنه يجب تركيب الحاجز بحيث تميل جوانبه بزاوية ٤٥° بالنسبة لحوائط المبنى الجانبية. ويخرج الهواء من المبنى خلال فتحات على



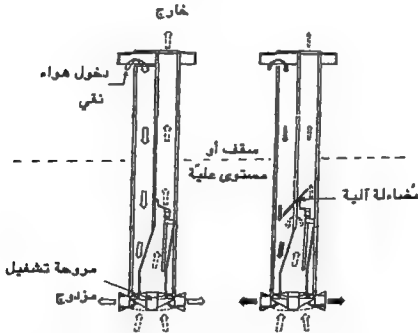
شكل (٩، ١٢). مدخل مقني ضاغط على هيئة صندوق مع حاجز توجيه

مسافات منتظمة مثل تلك التي تم توضيحها في نظم التهوية ذات الضغط مع تركيب المراوح على السطح.

التهوية ذات الضغط المتعادل

(NEUTRAL PRESSURE VENTILATION)

يستخدم نظام التهوية ذو الضغط صفر والمتوافر تجارياً مروحة مصممة خصيصاً لتزويد وطررد كميات متساوية من الهواء. فيتم خلط هواء الحيز مع الهواء النقي باستخدام مشبط خلط يعمل بالثرموستات ويدفع الهواء إلى المبنى من خلال اختناقات يتم ضبط كل واحد منها على حدة، الشكل رقم (٩، ١٣). ويزداد معدل استهلاك الطاقة مع هذا النظام؛ نظراً لاستخدام معدل تهوية ثابت. ولكن تسمح عملية خلط الهواء بتقديم هواء التهوية إلى المبنى عند درجة حرارة قريبة جداً من درجة حرارة الحيز. كما نجد أيضاً أنه كلما زاد معدل السريان، كلما تحسن توزيع هواء التهوية. ويُسمح باستخدام محرك كهربائي ذي سرعتين للحصول - مع المتطلبات المتغيرة - على ضبط أدق لمعدل التهوية. وغالباً ما تتركب وحدات التهوية - والتي



شكل (٩، ١٣). نظام تهوية ذو ضغط متعادل، مع التحكم في دخول الهواء النقي

تشمل المداخل والمخارج - بالقرب من مركز السقف أو السطح لبني الماشية، الشكل رقم (١٤، ٩). وتوجد وحدات طرد منفصلة متاحة لتحسين توزيع الهواء في المباني التي تتطلب طرد جزء من هواء التهوية من خلال خزان الروث.

وقد أصبحت نظم التهوية المتعادلة التي تم توطينها باستخدام مراوح طرد وضغط متساوية الحجم أكثر شيوعاً. وتستخدم هذه النظم في الأماكن حيث دقة التحكم مرغوبة لكل من الهواء الداخل والخارج. وتستخدم تلك النظم أيضاً بالنسبة للمنشآت التي تحتوي على فتحات مثل فتحات خزان مخلفات الحيوانات أو مداخل الأفران والتي يصعب إغلاقها بإحكام، كما يعتبر مرور الهواء الداخل أو المطرود من خلال تلك الفتحات غير مرغوب. وتتضمن نظم التهوية المتعادلة استخدام زوج من المراوح، بحيث تعمل أحدهما مع نظام ضغط لتوزيع الهواء داخل الحيّز والتأكد من التوزيع الفعال، بينما يتم تعليق المروحة الأخرى أو الطاردة في موضع ملائم للتخلص من كمية من الهواء من داخل المبنى تعادل الكمية التي تم دفعها إلى الداخل بواسطة مروحة الضغط.

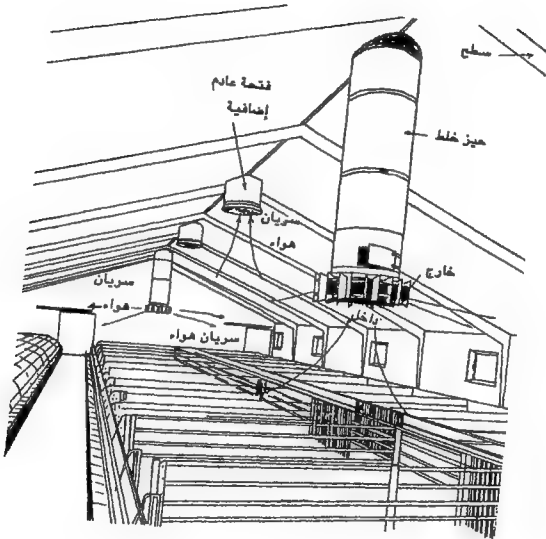
نظم التهوية الطبيعية

(NATURAL VENTILATION SYSTEMS)

يتم استخدام نظم التهوية الطبيعية طالما تم توفير أماكن لإيواء الحيوانات المزرعية أو الدواجن. وعادة يمكن الحصول على تهوية طبيعية كافية عن طريق التصميم المناسب للمداخل ومخارج الهواء، وكذلك عن طريق الضبط اليدوي لهذه الفتحات. وتوجد الآن تجهيزات آلية متاحة وشائعة الاستعمال للتحكم في تلك الضبطات.

و يجب الأخذ في الاعتبار للتوصيات التالية بالنسبة للتهوية الطبيعية لمنشآت الإنتاج الحيواني:

- ١ - يجب تحديد حجم فتحة حافة تتوافق مع كمية الحرارة المتولدة من الحيوان ومع تأثيرات الطاقة الشمسية المكتسبة. ويوصى باستخدام فتحة حافة



شكل (١٤، ٩). نظام تهوية ذو ضغط متبادل

لدفع ٢, ٠ (م^٣/ث) لكل م^٢ من مساحة الأرضية^(٦).

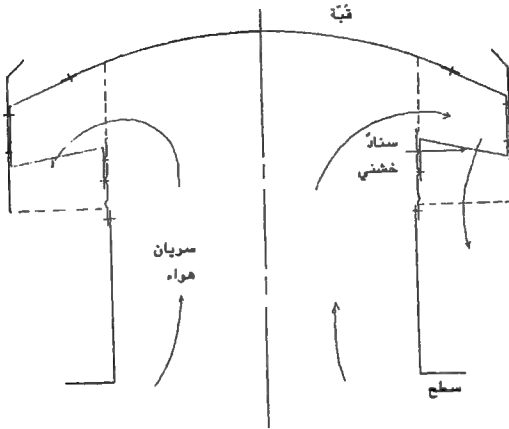
٢ - يجب أن تكون فتحات الحوائط الجانبية مستوية لتُعمّ اتجاهات الرياح الصيفية. ويتصح بالنسبة للبيوت بدون فتحات حافة أو مصدر تهوية ميكانيكية أن تكون نسبة عرض البيت هندسياً إلى المساحات المفتوحة على الحائط الجانبي أكبر من ١ إلى ٣. مثال: يجب أن لا يزيد عرض البيت ذي فتحة ٢ م مركبة على كل حائط جانبي على ١٢ م.

٣ - يجب وضع المباني على مسافة على الأقل ١٠ مرات ارتفاع أقرب الأشجار. كما يجب أن تكون المسافة بين المباني وبعضها البعض على الأقل ٤, ارتفاع المبنى مضروباً في الجذر التربيعي لطول المبنى^(٧).

فتحات الحافة العلوية (Ridge Vents)

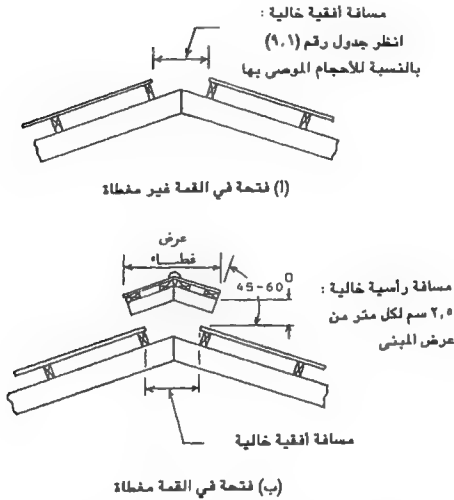
يتم عمل فتحات الحافة العلوية على السطح الخارجي للمبنى بالقرب من قمة الحافة العلوية بحيث تسمح للهواء المتحرك بقوة الرياح وفرق درجات الحرارة بالتسرب من المبنى إلى الخارج. ويمكن أن تكون الفتحات رأسية وأسطوانية أو مربعة الشكل، وذلك كما في الشكل رقم (١٥, ٩). ويمكن أيضاً أن تكون الفتحات أفقية مع وجود بعض التغييرات الهندسية المتعددة مع كل نوع. وتستخدم العديد من أنواع هوائيات الحافة، يعمل بعضهم بقوة الرياح والبعض الآخر لدية فتحات ضبط. وعادةً ما تمتليء هوائيات الأسطح في مباني الماشية والدواجن بالأتربة ويُنض الطيسور، أو بالثلوج في الأجواء الباردة. ويوضح (MWPS)^(٨) أن هذه الهوائيات تعتبر غير كافية بالمقارنة بفتحات الحافة العلوية، بالرغم من أنها تحمي المبنى من الأمطار و الثلوج. ويمكن ضبط وتنظيم سريان الهواء في الهوائيات العلوية باستخدام حواجز ضبط ميكانيكي.

ويكون الاستخدام الشائع عن طريق ترك الحافة مفتوحة باستمرار، الشكل رقم (٩, ١٦). ويجب توفير فتحة بطول من ٤ إلى ٥ سم تقريباً لكل م^٣ من عرض المبنى. ويحتاج الجمالون والمدادة - أو الرافدة الخشبية التي تُدعم السقف - إلى



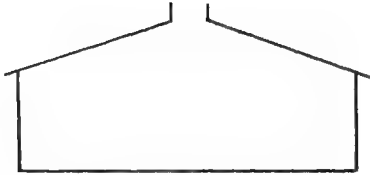
شكل (٩، ١٥). مهواة دائرية تعمل بالجاذبية

حماية من الأمطار أو الثلوج عن طريق استخدام شرايط من حشوات معدنية . ويمكن استخدام غطاء مرتفع فوق الفتحة ، كما في الشكل رقم (٩، ١٦) ، لمنع دخول الأمطار . ولكن قد يؤدي استخدام هذا الغطاء إلى الإقلال من معدل سريان الهواء وزيادة تراكم الثلوج في المبنى نتيجة لتأثير "السياج الجليدي" . وينصح بأن يكون أقل خلوص رأسي بين سطح المبنى والغطاء في حدود ٢,٥ سم لكل ٣ م من عرض المبنى بحيث لا يعترض الغطاء حركة الهواء المستمرة إلى أعلى . ويجب أخذ القياسات في عملية تركيب الغطاء من المستوى الأفقي بحيث تكون الزاوية من أقصى جزء مرتفع من السطح إلى أقل جزء من الغطاء ما بين ٤٥ و ٦٠ درجة .

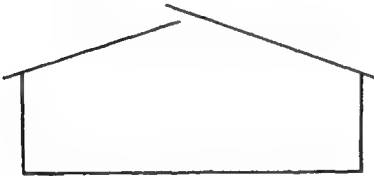


شكل (٩، ١٦). فتحات حافة ومستمرة، مفتوحة ومغطاة

ويمكن استخدام معاملات بديلة لفتحة الحافة مثل استخدام الحافة المتداخلة أو المتراكبة، الشكل رقم (٩، ١٧). ويعتبر التصميم المتداخل غير مرغوب في المناطق ذات الرياح عالية التغير.



(أ) متداخلة



(ب) - صدأية

شكل (٩, ١٧). فتحات حافة ومستمرة، متداخلة وذات حواجز توجيه

فتحات إفريزية (Eave Openings)

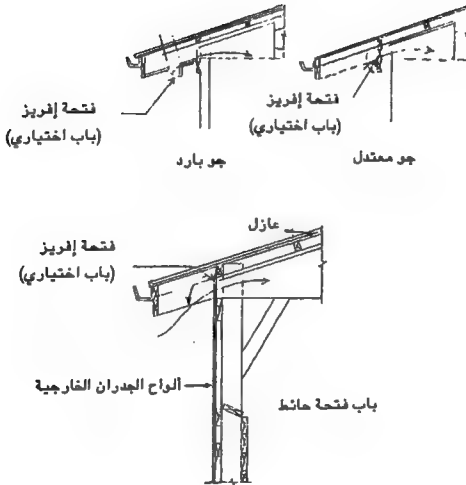
تُصمَّم فتحات الإفريز لإمرار الهواء إلى داخل المبنى، وقد تعمل أيضاً كمخارج للهواء اعتماداً على اتجاه الرياح. ويتشكل النوع الأكثر شيوعاً لفتحة الإفريز عن طريق عمل فتحة مستمرة ٥, ٢ سم لكل ٣ م من عرض المبنى تحت الإفريز، الشكل رقم (٩, ١٨). وتسمح هذه الفتحة بدخول مستمر وتوجيه للهواء النقي بطول السقف إلى فتحة الحافة العلوية. ويجب أن تكون فتحات الإفريز مفتوحة كلياً، ولكن مع بعض الاستثناءات القليلة. ويمكن غلق الفتحة جزئياً باستخدام بوابة مفصلية في الحالات التي تهب فيها العواصف الثلجية أو تيارات من الأمطار الشديدة. ويجب أن يكون أقل تصميم لفتحة الإفريز في حدود ١ سم لكل ٣ م من عرض المبنى.

ويمكن أيضاً توصيل مادة سطح قنطرة مثقبة إلى السطح السفلي للجزء المتدلي من السقف لتعمل كفتحة إفريز. وقد يحدث تسرب للجليد أثناء العواصف الثلجية الدوامية. وقد يكون ذلك مزعجاً خاصة إذا تراكمت الثلوج على قمة السقف الإضافي المعزول. ويوضح الجدول رقم (٩, ١) أحجام فتحات تهوية يوصى باستخدامها مع التهوية الطبيعية لمباني الماشية.

الأنواع المفصلية - الستائر والأبواب اللفافة

(Hinged Panels, Curtain and Rolling Doors)

تصل التهوية الطبيعية إلى أقصى معدلاتها في المباني ذات الواجهة المقترحة. ويعتبر هذا النوع من التصميم غير ملائم لجميع الأجواء ولكل الأجناس من الحيوانات. وتستخدم المباني كاملة التسييج ألواح مفصلية وأبواب لفاقة وستائر حائطية تعمل كفتحات تهوية. وتفتح الألواح المفصلية المعلقة من أعلى، كما تفتح للداخل، الشكل رقم (٩, ١٩). وتعتبر تلك الفتحات غير مرغوبة بالنسبة للنجر البارد في الشتاء؛ نظراً لأن الهواء البارد سوف يتجه صوب الحيوانات. وتسمح



شكل (١٨, ٩). ملاخل إفريزية ذات تهوية طبيعية

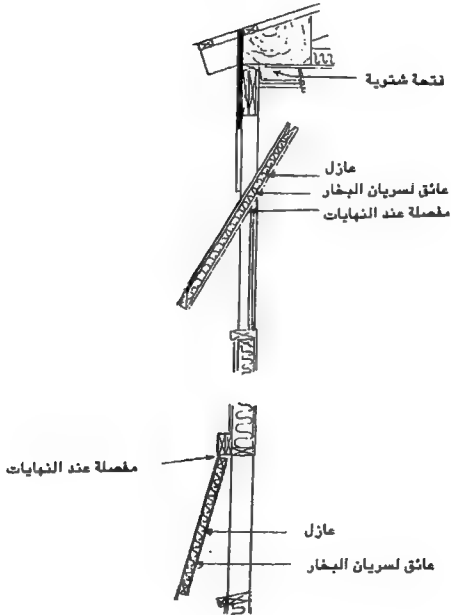
جدول (٩، ١). - أحجام فتحات تهوية يوصى باستخدامها بالنسبة للتهوية الطبيعية في مباني الماشية والدواجن^(١).

سم من الفتحة لكل ٣ م من عرض المبنى				
فتحات حافة وإفريزية		فتحات جانبية صيفية		نوع الإبراء
شتوية*		سطح جمالوني		
		أحادي الميل،	أحادي الميل،	
		حائط خلفي	حائط أمامي	
سم/٣ م من عرض المبنى				
أبقار لحم	٥, ١	٢٣	١٣	٣٨
ماشية حلاية	٢, ٥	١٥	١٠	٣٠
أغنام	١, ٦	١٥	١٠	٣٠

* - تم التصميم لتزويد تهوية في أجواء باردة عند سرعة رياح ٤, ٥ (م/ث). ويجب أن يكون عرض أقل فتحة حالة ١٠ سم، وذلك لمنع الانسداد الجليدي.

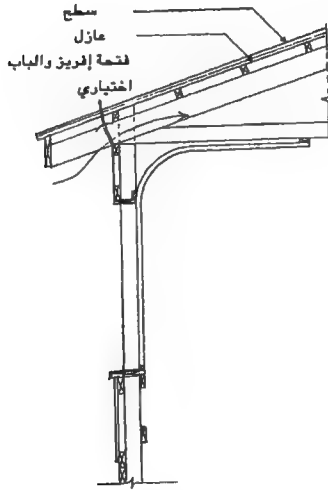
- تم تصميم أحجام فتحات الأسطح الجمالونية لتزويد تهوية في أجواء حارة عند سرعة رياح ١٠, ٥ (م/ث)

الأبواب المعلقة في مفصلات سفلية - والتي تُفتح للداخل من أعلى - للهواء البارد بالدخول إلى مستوى مرتفع داخل المبنى والاختلاط مع الهواء الداخلي الدافئ قبل الوصول إلى الحيوانات. وتكون الطريقة الثالثة والأكثر شيوعاً عن طريق جعل الأبواب تركز في منتصف بحيث يفتح الجزء العلوي للداخل والجزء السفلي إلى الخارج، الشكل رقم (٩، ١٩). ويتطلب هذا الترتيب ضبطاً دقيقاً؛ نظراً لأن الضبطة الواحدة تؤثر على الفتحة. ويقلل هذا الترتيب أيضاً من القوة المطلوبة لعملية الضبط سواء كانت يدوية أو آلية. وتستخدم الستائر الحائطية في بعض الأحيان في مباني الدواجن، وحديثاً في حظائر الماشية. وعامةً تصنع الستائر من الألياف الزجاجية المقواة، وتفتح من أعلى إلى أسفل بواسطة ونش وكابل. ويعتبر ذلك مرغوباً في الجو البارد.



شكل (٩, ١٩). ألواح معلقة للتهوية الصيفية

ويمكن أيضاً استخدام الأبواب اللفافة، كما في الشكل رقم (٩،٢٠)، لتزويد فتحات التهوية الطبيعية. وتعتبر هذه الأبواب أكثر ملاءمة لتزويد التهوية في التبريد الصيفي عند فتح الأبواب إلى أعلى، وذلك كما هو موضح بالشكل المذكور.



شكل (٩،٢٠). لوح تهوية صيفية على شكل باب لفاف

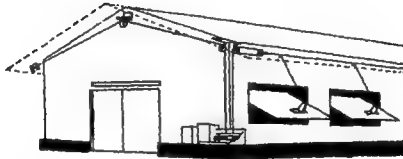
أجهزة تحكم آلية لتنظم التهوية الطبيعية

(Automatic Controls for Natural Ventilation Systems)

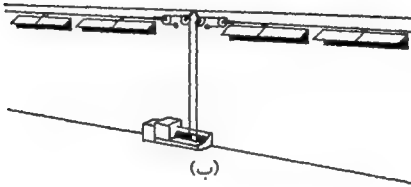
تم تطوير أدوات تحكم آلية بالنسبة لتنظم التهوية الطبيعية بحيث يمكن تعديل معدل التهوية لتحسين الظروف البيئية المرغوبة عند سرعات رياح ودرجات حرارة خارجية متغيرة. وفي الغالب ما تتضمن تلك النظم ثرموستات أو ثرموستات وساعة ذات فواصل زمنية محددة لضبط فتحات التهوية عن طريق كابل شد ووحدة أوتاش ومحولات. وتستخدم هذه الوحدات في فتح وغلق الأبواب والحواجز والستائر. وسوف تعمل أيضاً تلك الوحدات مع الأبواب المفصلية المثبتة سواء من أعلى أو من أسفل أو في المنتصف. ويوضح الشكلان رقما (٩، ٢١) و (٩، ٢٢) طريقتين من طرق التحكم الآلي في فتحات التهوية الطبيعية.



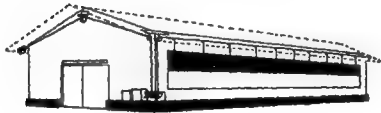
شكل (٩، ٢١). وحدة تحكم آلي لحواجز تهوية



(أ)



(ب)



(ج)

شكل (٢٢، ٩). أجهزة تحكم آلية لفتحات التهوية الطبيعية

(أ) - أبواب تهوية تُفتح وتُغلق

(ب) - حواجز تُفتح وتُغلق

(ج) - ستائر تُفتح وتُغلق

المراجع

- 1 Esmay, Merle L. 1978. Principles of animal environment. Ch. 16 Energy conservation principles. AVI Publ. Co., Inc., Westport, CT.
- 2 ASHRAE. 1978. ASHRAE Handbook of Applications. Ch. 22 Environmental control for animals and plants. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 347 East 47th Street, New York, NY 10017.
- 3 ASAE. 1981-82. ASAE Agricultural Engineers Yearbook. ASAE Data: ASAE D270.4 Design of ventilation systems for poultry and livestock shelters. ASAE, 2950 Niles Road., St. Joseph, MI 49085.
- 4 MWPS. 1976. MWPS-8 Swine housing and equipment handbook. Midwest Plan Service, Iowa State University, Ames, IA 50011.
- 5 Lubinus, Louis and J. P. Murphy. 1980. Mechanical ventilation of swine buildings. Pork Industry Handbook, PIH-60. Cooperative Extension Service, South Dakota State University, Brookings, SD 57007.
- 6 Timmons, M. B. and M. R. Baughman. 1981. Similitude analyses of ventilation by the stack effect from an open ridge livestock structure. TRANSACTIONS of the ASAE 24(4):1020-1034.
- 7 Krishnan, P. V. 1965. Spacing of buildings for natural ventilation. TRANSACTIONS of the ASAE 8(2):208, 209, 215.
- 8 MWPS. 1976. MWPS-7 Dairy housing and equipment handbook. Midwest Plan Service, Iowa State University, Ames, IA 50011.
- 9 Jones, Don C., H. Friday and S. S. DeForest. 1980. Natural ventilation for livestock housing. AE-97. Cooperative Extension Service, Purdue University, West Lafayette, IN 47907.

تأثير البيئة على نمو النبات*

(THE EFFECT OF ENVIRONMENT ON

PLANT GROWTH)

- مقدمة • درجة الحرارة • الرطوبة النسبية • الضوء
- بيئة الجذور • التعقيم للتحكم في الأوبئة

مقدمة

(INTRODUCTION)

يوجد أكثر من مليون وثلاثمئة ألف صنف تقريباً من النباتات المزروعة والمعروفة للإنسان. وتنمو هذه النباتات تحت ظروف مختلفة تتباين من أعماق البحار إلى قمم الجبال. ويتغير طول اليوم والطاقة الإشعاعية ودرجة الحرارة بالنسبة للبيئة على حسب المكان والفصل. كما تتباين التربة من حيث النوع والتركيب والخصوبة. وتتغير جذرياً نسب غاز ثاني أكسيد الكربون وملوثات الهواء في الهواء الجوي من المناطق الريفية إلى الحضرية. وقد كان لهذه المتغيرات سعي متصل من الإنسان لبناء البيوت للتحكم في تلك الظروف على حسب الاحتياجات. ويحتمل أن يكون أول بيت محمي أنشئ في بداية القرن الثامن عشر في ولاية ماسيتوسيس، وفي عام ١٧٦٤م في نيويورك. وقد قام جورج واشنطن بعد ذلك بعدة سنوات بوضع حجر الأساس لأحد البيوت المحمية في مونت فيرنون^(١).

وقد رأينا في آخر ثلاثة عقود تطوّر البيوت المحمية المكيفة وغرف نمو النباتات والعديد من المنشآت ذات التحكم البيئي^(٢). وقد ساعدت ميزة تهئية البيئة البحوث على دراسة تأثير العديد من العوامل البيئية على نمو النبات سواء

* روبرت أ. ألدريش: جامعة كيتاكي، ستورز
روبرت ج. داوتس: جامعة ولاية كالورانيا الشمالية، رالف
دونالد. كريزيك: وزارة الزراعة، بيلت سثيل - ميريلاند
لوويل كامبل: وزارة الزراعة - بيلت سثيل، ميريلاند

كانت مفردة أو مجمعة مع بعضها البعض . وقد ساعدت تلك المنشآت البحوث على إيجاد أقل وأمثل وأقصى ظروف مطلوبة لإنبات البذور والنمو الخضري وتطور نمو الفاكهة وأصناف مختارة من الزهور . وتستخدم المنشآت ذات التحكم البيئي حديثاً بواسطة المربين التجاريين للتعجيل بإنتاج الشتلات (٣) .

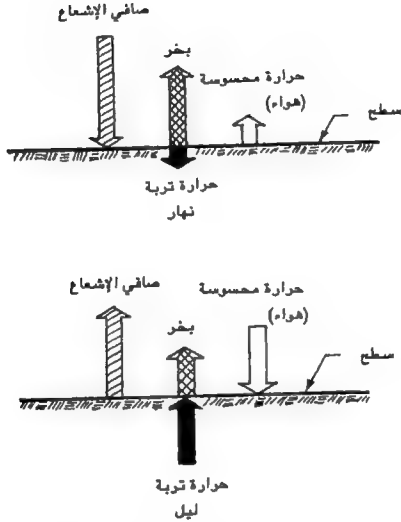
وتعتبر العلاقة بين النبات والبيئة معقدة للغاية؛ نظراً لوجود عدد كبير من التفاعلات البيئية مع البنية الوراثية التي تعمل عند مستويات عديدة تبدأ من مستوى الخلية إلى مستوى النبات ككل .

ويصف هذا الفصل تلك العوامل الموجودة في البيئة الطبيعية التي تلعب دوراً رئيسياً في تحديد تطور نمو النبات ، والتي تعتبر أيضاً مهمة للغاية بالنسبة للتصميم الهندسي للبيئة داخل البيت المحمي . وقد تم - لتسهيل عملية المناقشة - تقسيم البيئة الطبيعية إلى قسمين : القسم الأول خاص بالمنطقة الهوائية المحيطة بالنبات فوق سطح الأرض ، والقسم الثاني خاص بمنطقة الجذور تحت سطح الأرض . وتتضمن عوامل القسم الأول كلاً من درجة الحرارة والرطوبة النسبية والضوء وتركيب وحركة الهواء ، بينما تتضمن عوامل القسم الثاني الوسط الجذري ودرجة حرارة التربة ومصادر الغذاء والماء . وقد تم أيضاً إضافة فقرة خاصة بتقييم التربة .

درجة الحرارة

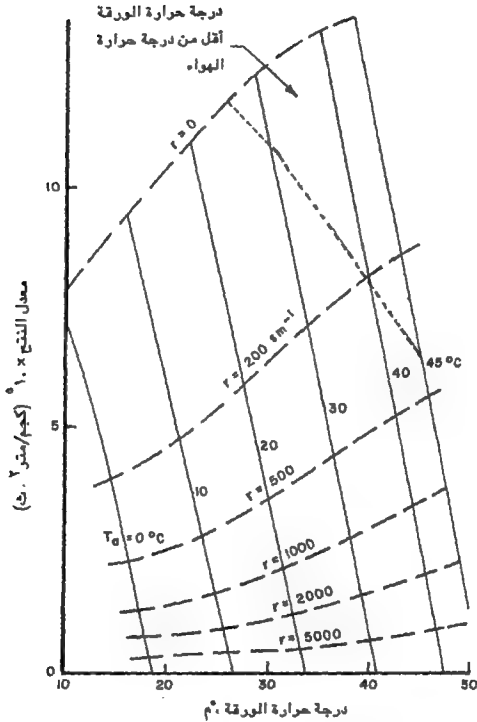
(AIR TEMPERATURE)

تعتبر درجة حرارة أوراق النباتات في الغالب ممثلة لدرجة حرارة النبات نفسه . وتولد تلك الحرارة من الاتزان الحراري عند الأوراق . وفي الغالب ماتعتبر درجة حرارة الأوراق محصلة لعدة عوامل منها درجة حرارة الجو والطاقة الإشعاعية والتبادل الحراري بالحمل (الكامن والمحسوس) عند سطح النبات ، الشكل رقم (١٠، ١) . ولا يمكن بأي حال من الأحوال بناءً على ما سبق فصل درجة حرارة أوراق النباتات عن العوامل البيئية المحيطة بها والمؤثرة فيها ، كالأضاءة وحركة الهواء ودرجة الحرارة والرطوبة النسبية للهواء ، الشكل رقم (٢، ١٠) (٤، ٥) . وترتفع درجة حرارة الأوراق عن درجة حرارة الجو بزيادة الطاقة الإشعاعية الساقطة على سطح



شكل (١، ١٠). رسم يوضح توزيعات الطاقة على سطح الأرض

الأرض. وتناسب كمية الحرارة المستقلة بالحمل مع فرق درجة الحرارة بين الأوراق والهواء. وعلى ذلك، فإن سريان الهواء فوق الورقة يجب أن يُعزز حمل الحرارة المحسوسة وأيضاً الكامنة عن طريق خفض سمك الطبقة الحدية والمقاومة؛ نظراً لأن المقاومة (r) تتناسب مع سرعة الهواء، أو $r = KV^{-0.5}$. ولكن تعتبر الطبقة الحدية أيضاً دالة في شكل الورقة، بحيث يتوقع أن تكون للورقة الصغيرة الرفيعة مع سرعة هواء مرتفعة نسبياً درجة حرارة أقل من درجة حرارة الورقة الكبيرة السمكية، وذلك تحت



شكل (١٠، ٢). معدل النتح كدالة في درجة حرارة ورقة النبات، بالنسبة لدرجات حرارة هواء متغيرة ومقاومة انتشار كلية.

نفس الظروف من الطاقة الحرارية والإشعاعية. ولذلك فإن درجة حرارة ورقة فول الصويا تكون قريبة جداً من درجة حرارة الوسط، بينما بناء سميك مثل الصبار يمكن أن تكون له درجة حرارة داخلية قد تصل إلى ٣٠°م أعلى من الظروف الجوية. ومن الشائع أن تكون درجة حرارة الأوراق أعلى من درجة حرارة الهواء من ١٥ إلى ٢٠°م في بيئة حَرَجَفِيَّة أو تتسم بالحرارة والجفاف^(٧٠). وقد ارتفعت درجة حرارة المبيض أو الجزء الأسفل المتفتح من نبت بصللة تواجه الشمس والمقاسة في يوم ساكن حتى ٦٠°م^(٧١). وقد فشلت تلك المبايض - ولا توجد حاجة إلى ذكر ذلك - في إنتاج بذور قيّمة.

وقد تكون درجة حرارة الورقة أعلى من درجة حرارة الوسط المحيط طالما لم تتعدى درجة حرارة الوسط ٢٨°م. وغالباً ما تكون درجة حرارة الورقة بعد ذلك أقل من درجة حرارة الوسط، خاصةً عند درجة حرارة للوسط أعلى من ٣٠°م^(٨). وتوقف نقطة اتزان أو انقلاب درجة حرارة النبات على كل من البناء النسيجي للورقة والطاقة الإشعاعية. فترتفع درجة حرارة الورقة عندما تكون درجة حرارة الهواء أقل من نقطة الانقلاب. وسوف تتناسب درجة الحرارة المتحصل عليها مع سرعة الهواء، وذلك كما تمت مناقشته بعد ذلك في هذا الفصل. وتصبح درجات حرارة الورقة أبعد من درجة حرارة الوسط المحيط عندما ترتفع درجة حرارة الهواء عن نقطة الاتزان. وقد تؤدي زيادة سريان الهواء في تلك الحالة إلى ارتفاع درجة حرارة الورقة بدلاً من خفضها نتيجة للانخفاض الحاد في النتج والتمتد من الضغوط الميكانيكية^(٩). وقد تم توضيح تلك التأثيرات بشيء من التفصيل بواسطة^(١٠) (Salisbury) والتي تم تلخيصها تحت العنوان الجانبي الخاص بحركة الهواء. وعادةً ما تكون المواد المتخمرة ودرجات حرارة الهواء في البيوت المحمية أعلى منهما في الهواء الخارجي؛ نظراً لأن انتقال الحرارة بالحمل في البيت المحمي يكون أقل منه في الوسط المفتوح. فعلى سبيل المثال، في الغالب ما يكون معدل سريان الهواء منخفضاً في البيوت المحمية.

ويُشار إلى درجة حرارة الهواء بدلاً من درجة حرارة الورقة بالنسبة لمعظم المعلومات المرتبطة بتأثير درجة الحرارة على نمو وتطور النبات. ويرجع السبب في ذلك في بعض الأحوال إلى أن بيانات الأرصاد تتعامل مع درجة حرارة الهواء، وفي

البعض الآخر إلى صعوبة قياس درجة حرارة الورقة بدقة^(١١). ويجب أن يشار إلى أن درجة حرارة ورقة فردية نادراً ما تمثل متوسطاً، أو حتى أعلى درجة حرارة للنبات. وعادةً ما تكون الورقة المختارة للقياس ورقة علوية بحيث تستقبل المستوى الكامل من الطاقة الإشعاعية. ولكن نظراً لأنه من الأرجح أن تستقبل تلك الورقة أيضاً أكبر معدل سريان هوائي وأقل ضغط بخاري، فإن تلك الورقة قد لا تكون الورقة ذات أعلى درجة حرارة.

ويصعب على النباتات - بعكس الحيوانات - الاحتفاظ بدرجة حرارة ثابتة للأنسجة والخلايا مع تغير درجة حرارة الوسط. وبالأحرى، تكون أوراق وسيقان وجذور النباتات عند درجات حرارة أعلى من أو أقل من نطاق درجات حرارة الهواء أو التربة بعدة درجات. وتكون النتيجة أن أي تغير في درجة حرارة الوسط يؤثر تأثيراً فعالاً على النبات من حيث النمر والأبيض الحراري^(١٢). وقد يصعب نتيجة للتغيرات الكبيرة في درجة حرارة كل من الوسط والتربة استنباط أي علاقات دقيقة تربط بين العمليات التي تجري للنبات وظروف درجة حرارة الوسط.

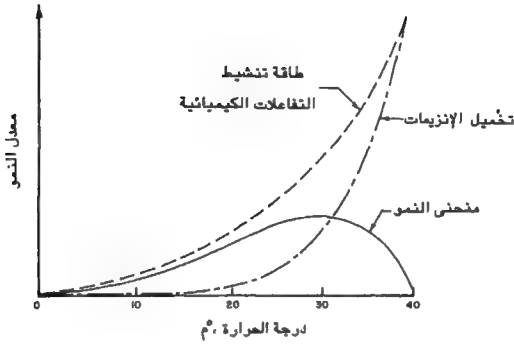
وتعتمد درجة حرارة الأوراق على عدة عوامل منها: (أ) الوقت أثناء النهار (منتظم أو توجد تغيرات دورية)؛ (ب) الشهر من العام (تغيرات موسمية)؛ (ج) تجمع السحب وسرعة الرياح (تغيرات غير منتظمة، تغيرات على المدى القصير)؛ (د) وضع النباتات بالنسبة للنباتات المحيطة به (معرضة للشمس أو الظل)؛ (هـ) ارتفاع النبات فوق سطح التربة؛ (و) أبعاد الورقة نفسها.

وتعتمد درجة حرارة الجذر أساساً على عدة عوامل مثل: (أ) الوقت من اليوم؛ (ب) الوقت من السنة؛ (ج) العمق تحت سطح التربة؛ (د) خواص التربة لإيجاد الامتصاص وانتقال الحرارة (مرتبط أساساً برطوبة التربة والكثافة الظاهرية وطبيعة سطح التربة)؛ (هـ) نوع وعاء الجذر. وهكذا، تتضمن ثلثة الأوراق وشكل توزيع التربة تركيبة معقدة لمنظومة درجات حرارة تتذبذب بسرعة مع كل مجموعة من الأوراق والجذور، وتستجيب لمنط فريد من تذبذبات درجات الحرارة^(١٣).

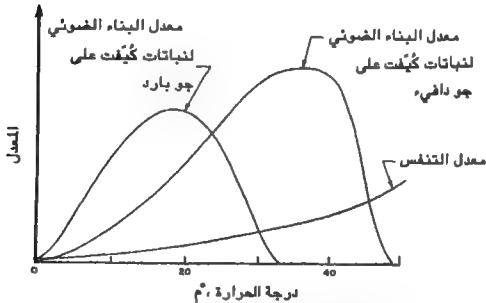
وتعتبر العلاقة بين درجة حرارة الهواء و نمو النبات معقدة للغاية، وذلك بناءً على العدد الضخم من المراجع المرتبطة بهذا الموضوع^(١٤، ١٥، ١٦، ١٧). وتتحكم درجة الحرارة في ردود أفعال العديد من العمليات الأيضية التي تسبب نمو النباتات،

الشكلان رقما (٣، ١٠) و(٤، ١٠). وتقول القاعدة العامة من قانون (Van't Hoff's) أن معدل رد الفعل الكيميائي يتضاعف عند كل ارتفاع في درجة الحرارة ١٠ م°، وقد زاد - وتعتبر تلك النقطة الحاسمة - وجود عوامل أخرى لاتدخل في تلك التفاعلات. وعلى ذلك لابد من معارضة الإغراء القائل بأنه يمكن مناقشة تأثيرات عامة لدرجات الحرارة في صور نظم إنزيمية بدلاً من صور الكائن الحي ككل، أو على الأكثر واحد أو اثنان من العمليات الفسيولوجية. ويرجع السبب في ذلك إلى أن النمو يتولد من ردود أفعال معقدة والتي - بسبب تأثيرات التداخل الجانبية والتفاعلات - لا تستجيب لدرجة الحرارة بنفس الطريقة. وتعتبر العلاقات التي تربط بين درجة حرارة الوسط المحيط بالنبات ومعدل النمو معقدة للغاية. وحتى مناقشة تأثيرات درجة الحرارة في صور عمليات فسيولوجية - مثل البناء الضوئي والتنفس والنقل من مكان إلى آخر والتتح أو امتصاص الماء والأيون - يمكن أن تسبب إرباكاً؛ نظراً لأن معدل أداء أي عملية من تلك العمليات قد يتفاعل مع معدل أداء عملية أخرى. فنجد على سبيل المثال، بالنسبة لأوراق البطاطس، أن كل ارتفاع في درجة الحرارة ١٠ م° يؤدي تقريباً إلى مضاعفة معدل التنفس. ولكن يجب مراعاة أن البناء الضوئي الكلي والصافي قد يصل إلى أقصاهما عند درجة حرارة حوالي ٢٠ م°. ويميل البناء الضوئي الكلي إلى الانخفاض بزيادة درجة الحرارة عن ٢٠ م° نتيجة تأثير عوامل أخرى محددة. وعادة ما يكون لتركيز (ك أ) دور في ذلك، مع أن ارتفاع مستوى (ك أ) قد يؤدي إلى زيادة مؤقتة في معدل البناء الضوئي الكلي. ويتناقص البناء الضوئي بالطبع بسرعة عند درجة حرارة أعلى من ٢٠ م° نتيجة لزيادة معدل التنفس، وقد تنحدر قيمته إلى الصفر عند درجة حرارة حوالي ٣٨ م° (١٧).

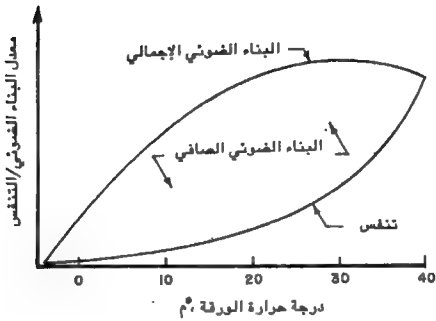
و يوجد لدى كل النباتات درجات حرارة دنيا ومثلى وعظمى للنمو. وتوضح الأشكال أرقام من (٣، ١٠) إلى (٦، ١٠) والجدول رقم (١، ١٠) درجات الحرارة الرئيسية الثلاث. ويتم التحكم في استجابة درجة الحرارة بواسطة تفاعل معقد مرتبط بالوراثة والتطوير وعوامل استنباتية تعمل على تكيف الاستجابة البيئية للنبات. وتعتبر الحدود القصوى والدنيا لدرجات حرارة النبات الحدود التي لا تعمل عندها الإنزيمات، الشكل رقم (٣، ١٠). فتؤدي زيادة درجات الحرارة عن تلك الحدود إلى تدمير البروتين وشل عمل الإنزيمات وتكسير الخلايا العنصرية^(٥). وقد



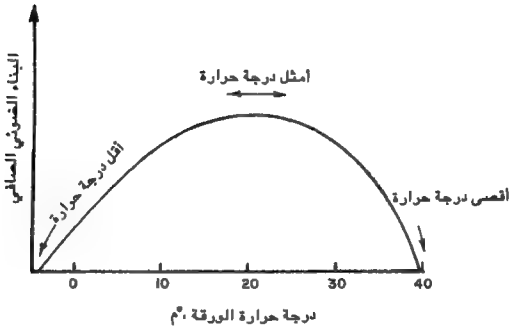
شكل (١٠، ٣). تأثير درجة الحرارة على معدل النمو لنباتات ذات رطوبات معتدلة (١٦)



شكل (١٠، ٤). منحنيات نظرية لمعدل البناء الضوئي الصافي ومعدل التنفس كدالة في درجة الحرارة بالنسبة لنباتات كُثِّفَت على ظروف باردة ودافئة.

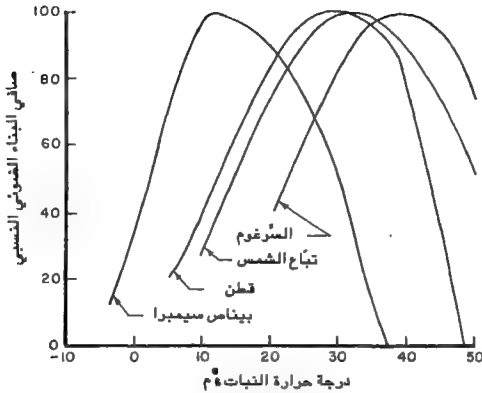


(أ)



(ب)

شكل (٥، ١٠). رسم يمثل استجابة معدل نمو النباتات للدرجة الحرارة، كما يوضح الثلاث درجات حرارة الرئيسية (الأقل والعظمى والمتلى).



شكل (٦، ١٠). معدل البناء الضوئي النسبي لأنواع عديدة من النباتات كدالة في درجة الحرارة

جدول (١، ١٠). درجات الحرارة الأساسية والضرورية لعملية البناء الضوئي عند درجة تشبع من الإضاءة لمجموعات من أصناف نباتية مختلفة.

درجة الحرارة العظمى	درجة الحرارة المثلى	درجة الحرارة الصغرى	
٦٠-٥٠	٤٥-٣٥	٧-٥	نباتات استوائية
٥٠-٤٠	٣٠-٢٠	٢- إلى فوق الصفر	نباتات محاصيل زراعية
٥٠-٤٠	٣٠-٢٠	٢- إلى صفر	نباتات شمسية
٤٠	٢٠-١٠	٢- إلى صفر	نباتات ظل
			نباتات الألب ذات
٤٠-٣٠	٢٠-١٠	٢- إلى ٧-	التزهير الطبيعي
			نباتات استوائية
٥٠-٤٥	٣٠-٢٥	صفر إلى ٥	ودائمة الخضرة

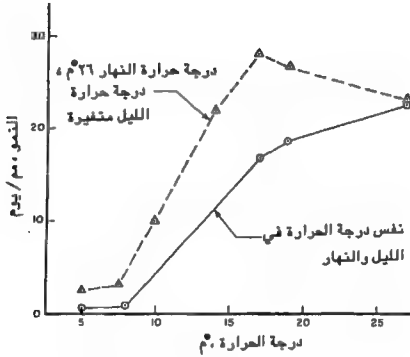
يؤدي تكون ثلوج بين خلايا النباتات عند درجات حرارة تحت درجة التجمد إلى التدمير المباشر للخلايا النباتية. وقد ينتج من البرد أيضاً تلف نتيجة لسحب الماء من برتوبلازما الخلية في شكل حبيبات ثلجية. ويمكن زيادة مقاومة خلايا النبات عند القيم المتطرفة من درجات الحرارة سواء العظمى أو الصغرى عن طريق عملية تأقلم على مراحل أو التصليد (١٩ إلى ٢٣).

ويمكن تحديد درجة الحرارة العظمى والدنيا بدقة في بعض الأحيان^(٢٤)، ولكن في الحقيقة تعتمد البيانات الأخرى على عوامل أخرى للموسط، وعلى الطريقة التي تمت بها الاختبارات. وسوف تعتمد درجة الحرارة الدنيا على مدى سرعة الوصول إلى الدرجة الدنيا، وعلى الوقت الذي يستغرق عند تلك الدرجة أثناء فترة التدفئة أو الارتفاع مرة أخرى. وسوف تعتمد درجة الحرارة الدنيا أيضاً على ما إذا كانت درجة الحرارة منخفضة باستمرار أو وجود دورات من درجة الحرارة بين نهار دافئ و ليلة باردة. ويحتمل أن تعتمد درجة الحرارة العظمى على معدل التغير، وأيضاً على فترات التغير مثلها مثل مدى توافر الماء والرطوبة النسبية^(٢٤).

وتعرف درجة الحرارة المثلى للنبات على أنها أعلى درجة حرارة تتم عندها أي عملية بمعدل ثابت. وبناءً على هذا التعريف، فإنه من غير المرجح أن يحدد أحد بثقة درجة حرارة معينة على أنها درجة حرارة مثلى لنمو صنف معين. وإذا كانت الحالة كذلك، فإن اختلاف العمليات الفسيولوجية يتبعه اختلاف درجات الحرارة المثلى، كما أن تلك الدرجة لنمو نبات معين قد تقلل من معدل نمو نبات آخر. فيمكن على سبيل المثال أن تُحفّز درجات الحرارة المرتفعة في الليل من النمو على حساب معدل إنتاج المادة الجافة^(٢٥). ونجد الأكثر من ذلك، أن كل مرحلة من مراحل نمو النبات يكون لها درجة حرارة مثلى تختلف عن درجة حرارة المرحلة الأخرى، وذلك لتأثيرها بكثافة الحزمة الإشعاعية وبما هو متاح من الماء والغذاء^(٢٦). فنجد على سبيل المثال -عند عمر معين لنباتات الفلفل- أن درجة الحرارة المثلى بالنسبة لاستطالة الساق تنخفض من ٣٠ إلى ٨°م، وأن درجة الحرارة المثلى بالنسبة لوزن الثمار الكلي يتزحزح من ٢٠ إلى ١٢°م^(١٣). فتزحزح درجة حرارة نبات قزمة التين من ١٨ إلى ٧°م عند تقدم عمر النبات من ٤ إلى ٢٤ أسبوعاً^(١٥). ويبدو في تقرير

Moore⁽²⁷⁾ وجود تفاعل واضح بين درجة الحرارة والطاقة الإشعاعية. وقد أوضح أن درجة الحرارة المثلى لطماطم البيوت المحمية تتراوح من ١٥ إلى ١٩°م إذا كانت السماء ملبدة بالغيوم، ومن ٢٠ إلى ٢٧°م إذا كانت السماء صافية مشمسة.

ويعتبر مفهوم الدورية الحرارية من الأشياء التي تزيد من تعقيد الوصول إلى درجات حرارة مثلى. وتقترح تلك الدورية وجود العديد من النباتات وخاصة الخشبية منها، تنمو بمعدل أفضل عندما تكون درجة حرارة الليل أقل من درجة حرارة النهار^(١٤، ١٣)، الشكل رقم (٧، ١٠). ويعني ذلك أنه يجب أن يكون لأصناف النباتات التي تتعامل مع الدورية الحرارية درجتان حراريتان مثليتان، واحدة أثناء النهار والأخرى في الليل، وذلك عند كل مرحلة من مراحل تطور النبات. ومن الناحية العملية ينمو العديد من المحاصيل في البيوت المحمية عند درجات حرارة قياسية. ولا يوجد الكثير مما يقال عن درجات حرارة النهار، ولكن ترك الانطباع أن درجات حرارة الليل تعتبر المثلى. فعادة ما تنمو نباتات الزينة عند درجات حرارة أثناء الليل تتراوح من ١٧ إلى ٢١°م والورود من ١٥ إلى ١٧°م والأزهار عند ١٥°م^(١٥). وتنمو نباتات قفصة التين عند درجات حرارة ليلية تتراوح من ٨ إلى ١٠°م في الشتاء، ولكن تتغير تلك الدرجات إلى المدى من ١٣ إلى ١٥°م في فصلي الربيع والخريف. وفي الغالب تنمو شجيرات الفوشية الزهرية عند درجات حرارة ليلية تتراوح من ١١ إلى ١٣°م، مع أن تلك الشجيرات تنمو وتزهّر جيداً عند درجة حرارة ١٨°م إذا حُفظت درجة حرارة النهار عند ٢٢°م. ومن الواضح أنه لا يمكن خلال فترة النمو الاحتفاظ بدرجات حرارة الليل المقتبسة للعديد من محاصيل البيوت المحمية باستثناء في الولايات الشمالية حيث تبقى درجات الحرارة الخارجية في نهاية الخريف وفي فصل الشتاء أقل من درجات الحرارة الموضحة. وهكذا، يوجد العديد من العوامل التي تؤثر على درجات الحرارة الليلية المثلى. ويوضح الجدول رقم (٢، ١٠) المدى الموصى باستخدامه للعديد من محاصيل البيوت المحمية.



شكل (٧، ١٠). معدل النمو في ارتفاع نبات الطماطم

وقد أدى انخفاض درجة حرارة الليل إلى إنتاج محتوى سكري مرتفع لبعض النباتات. وقد يكون ذلك أحد الأسباب التي تؤكد زيف القول إن درجة الحرارة الليلية المنخفضة تؤثر على نمو بعض الأصناف. وقد اتضح أن انخفاضات درجة حرارة الليل قد أدت إلى زيادة نمو الجذور بالمقارنة بنمو براعم أو فروع جديدة لنباتي البطاطس والتبغ، وإلى زيادة انتقال السكريات إلى الجذور؛ ويكون ذلك إما نتيجة لزيادة نمو الجذر أو أن السبب غير واضح. ويمكن تقليل فواقد الكربوهيدرات خلال التنفس عن طريق خفض درجة حرارة الليل^(١٦).

جدول (١٠٢) . درجات الحرارة الليلية الموصى باستخدامها والتي تنمو عندها محاصيل البيوت المحمية.

أصناف المحاصيل	درجات الحرارة الليلية ، °م	ملاحظات
زهرة النجمة		
كاليستيفاس تشانينس	١٣ - ١٠	أيام طويلة في مراحل النمو المبكرة
الصحراوية		
أصناف رودوديندرون الكلسية	١٨ - ١٦	نمو خضري ورفع درجات حرارة محددة مطلوبة لبدء التزهير والنمو
هيريوهايدريا	١٦	نمو خضري وبدء تزهير وتطور ؛ ويبدأ التزهير أيضاً مع الأيام الطويلة ودرجات الحرارة المرتفعة إذا كانت كثافة الإشعاع الضوئي مرتفعة
الأذريون	٧ - ٤	
أوفيسيناليس كالا	١٦ - ١٣	انخفاض إلى ١٣ °م عند تزهير النباتات
أصناف زويتدشيا		
قرنفل	١١ - ١٠ شتاء	
ديانثيوس كاري فيلاس	١٣ ربيعاً	تضبط درجات الحرارة الليلية على حسب فصول السنة بالنسبة لكثافة أشعة الضوء
١٦ - ١٣ صيفاً		

تابع جدول (٢، ١٠).

أصناف المحاصيل	درجات الحرارة الليلية ، °م	ملاحظات
الأقحوان (زهرة الذهب)	١٦ قطف الأزهار	
موريفو	١٨ - ١٧ نباتات	درجات الحرارة عند بدأ التزهير
	كرشيه	حرجة ١ والبداية المنتظمة مهمة
		للغاية للأقحوان وتقسيم
		النباتات المزروعة
بخور مريم	١٨ - ١٦	إنبات
أنديسام	١٣	نباتات طبيعية
	١١ - ١٠	نمو وتزهير
	٢١ - ١٨	تختلف الأصناف من حيث
نباتات الزينة		درجات الحرارة ومتطلبات
		الطاقة الإشعاعية
الفوشية	١٣ - ١١	أيام طويلة لبدء التزهير
هيدرندا		
الفرنوقي	١٦ - ١٣	١٨ - ١٦ للمحاصيل السريعة
يلارجونيم هورتورام		عند طاقة إشعاعية عالية .
الغردنيا	١٧ - ١٦	ينتج من درجات الحرارة
جرانديلورا		المنخفضة شحوب يخضوري
		لنقص الحديد وتزيد الحرارة

تابع جدول (٢، ١٠).

أصناف للمحاصيل	درجات الحرارة الليلية ، °م	ملاحظات
العالية من بتر البراعم		
جلوكسينيا سينينجيا ميسيا	١٨ - ٢١	تزيد درجات الحرارة المنخفضة من لمعان البراعم
الكوية	١٣ - ١٦	درجات حرارة محددة لبدء التزهير والنمو
ماكروفيلا	١٦ - ١٧ (دفع)	
رفيف تنجيتانا	١٦	تؤثر درجة الحرارة على معدل تطور الزهور وحدوث تفتيت وعفن فطري
السحلية أصناف كاتليا	١٦	درجة الحرارة المطلوبة للهايبريد مرتبطة بأصناف البازنتال
السحلية أصناف فالانويس	١٨	
أصناف سيميديام	١٠	
سيربيديام	١٠ - ١٣	
البونسيتة يوفوريا بولشرجا	١٨	تغير فترة الإضاءة المطلوبة مع درجة الحرارة ،

تابع جدول (٢، ١٠).

اصناف المحاصيل	درجات الحرارة الليلية ، °م	ملاحظات
ورود اصناف وردية	١٦ - ١٧	يتأثر نمو القنابة بدرجة الحرارة
السمكة انتيريبيهام مياز نباتة شتلات مائيولا إنكاتا	٩ - ١٠ ٧ - ١٠	نباتات شتوية وريعية وخريفية تسقط البراعم عند درجة حرارة أعلى من ١٨ °م لمدة ست ساعات في اليوم والنمو كمحصول حقل يكون في كاليفورنيا وأريزونا .
الطماطم	١٦ - ١٩	درجات حرارة جافة من ١٢ إلى ٢٧ °م في الأيام المشمسة
الحس	١٣	١٧ - ١٨ °م في الأيام الملبدة بالغيوم و ٢١ - ٢٦ °م في الأيام المشمسة
الحيار	١٨	٢٤ °م في الأيام الملبدة بالغيوم و ٢٧ °م في الأيام المشمسة

وقد نتج عن مفهوم الدورية الحرارية استنتاج مفهوم درجة حرارة نهار/ ليل، والذي يقترح برنامجاً مستمراً لدرجة الحرارة مشابه للتغيرات الجوية الطبيعية. وقد أدى ذلك إلى الحصول على غو للنباتات أفضل أو على الأقل أكثر "طبيعي". وقد يحدث ذلك على النحو المشار إليه، ولكن غالباً -ولسوء الحظ- ما يتحصل على البرنامج الدوري أثناء فصل النمو من السجلات في صورة بيانات مناخية ذات قيم متوسطة. وقد تكون هذه الطريقة غير واقعية بمعنى أن البرنامج الدوري الناتج يحتمل أن لا يحدث في الطبيعة، وأنه لا يمثل في الحقيقة دورات درجة الحرارة الطبيعية. ونتيجة لذلك، فإن النباتات قد لا تنمو مع برنامج لدرجات الحرارة مثلما تنمو لو كان البرنامج يستخدم القيمة المتوسطة لدرجة الحرارة أو متوسط درجات حرارة اليوم ومتوسط درجات حرارة الليل^(٢٨). فإذا كان المطلوب تطور وغو "طبيعي" للنباتات -كما يجب لتمكين إجراء دراسات على بيئة مهيئة أو بيوت محمية للتعامل مع الإجهاد الفسيولوجي- فإن أفضل طريقة تكون عن طريق توفير درجة حرارة متزايدة وموسمية تأخذ في الحسبان متطلبات درجات الحرارة المختلفة عند كل مرحلة من مراحل النمو^(٢٩).

وغالباً ما تتفاعل درجة الحرارة مع استجابات النباتات للعوامل البيئية الأخرى، مثل التحكم في فترات الإضاءة الخاصة بالتزهير وتكوين الدرنات ومرحلة السُّبَات. وتتطلب بعض النباتات مثل (*Rudbeckia* and *Delphinium Cultor*) (*um*) أياماً طويلة إذا كانت درجات الحرارة منخفضة، ولكن يحتاج إلى يوم متعادل عند ارتفاع درجة الحرارة^(٣٠). وسوف يُتبع عُشْب البَنُونِيَّة، والذي لا يشكل فعلياً أزهار مؤنثة عند ١٥°م بصرف النظر عن طول النهار، حوالي ٢٥٪ من الأزهار المؤنثة عند ٢١°م، ولكن فقط إذا كانت الأيام طويلة^(٣١). ويذهب العديد من النباتات الخشبية مثل (*Betula Papyrifera*) في سُبَات عندما تكون ساعات النهار قصيرة، بينما تستمر في النمو إذا كانت طويلة. وقد تفشل ساعات النهار الطويلة في منع السُّبَات إذا كانت درجة حرارة الليل منخفضة (١٤°م)؛ وقد تستمر النباتات في النمو حتى في الأيام القصيرة إذا كانت درجة الحرارة مرتفعة (٣٠/٢٦°م نهار/ ليل)^(٣٢). وسوف تتكون الدرنات عند غو البطاطس تحت ظروف يوم طويل (١٦- ساعة نهار) إذا كانت درجة حرارة اليوم ٣٠°م أو أعلى بصرف النظر عن درجة

حرارة الليل . ولكن تتكوّن الدرنات عند درجة حرارة نهار منخفضة إذا كانت درجة حرارة الليل أقل من درجة حرارة النهار . ويحدث أقصى تكوّن للدورات تحت ظروف يوم-قصير (٨-ساعة نهار) عندما تتساوى درجات حرارة كل من الليل والنهار (المثلث ١٧م)^(١٦) . ولكن تتراوح درجة حرارة الليل المثلى لإنتاج الدرنات تحت ظروف أيام طويلة من ١٠ إلى ١٤م^(١٧) . وسوف تتكون الدرنات لبعض الزراعات مثل الكاتادين عندما تتراوح درجات حرارة الليل من ٢٤ إلى ٢٦م بالنسبة للأيام القصيرة .

وقد وجد أن التفاعلات بين درجة الحرارة ونوع الرعاء تكون مهمة وحاسمة للنمو المبكر لهجين نباتات حوليّة صغيرة تحت ظروف بيئية مهيّئة^(١٨) .

الرطوبة النسبية

(RELATIVE HUMIDITY)

الرطوبة النسبية عبارة عن ضغط بخار الماء الفعلي في الهواء إلى ضغط بخار الماء إذا كان الهواء مشبعاً بالرطوبة عند نفس درجة الحرارة . ويتحرك بخار الماء من مكان إلى آخر نتيجة فرق ضغط بخار الماء ؛ وعلى ذلك ، تؤثر الرطوبة النسبية على عملية النتح بواسطة التأثير على فرق ضغط بخار الماء بين الورقة والهواء . ويتوقف معدل النتح على : (أ) درجة تفتح المسام الموجودة بالورقة ، (ب) فرق ضغط بخار الماء بين ورقة النبات والهواء ، (ج) مدى اضطراب الهواء . ويؤدي الانخفاض الحاد في الرطوبة النسبية للهواء الخارجي إلى زيادة فواقد التبخير بمعدل أكبر من سعة النبات على تعويض الماء المفقود ، الأمر الذي يؤدي إلى ذبول النبات . وعامة سوف يحدث نمو طبيعي للنبات عند رطوبات نسبية بين ٥٠ إلى ٨٠٪ .

وتؤثر الرطوبة النسبية أو بالأحرى ضغط البخار على معدل انتقال الحرارة الكامنة بالنتح من الأوراق . وتعني الرطوبة النسبية المنخفضة معدل نتح مرتفع ؛ نظراً لأن الرطوبة النسبية المنخفضة تمثل عادة ضغط بخار ماء منخفض . وقد نُشر في بحث عدم وجود تأثير ملموس للرطوبة النسبية في المدى من ٤٠ إلى ٨٠٪ على

درجة حرارة أوراق النبات عند درجة حرارة للوسط 20°C ، بينما وضح هذا التأثير عندما ارتفعت درجة حرارة الهواء إلى 40°C ^(٣٤). ويرجع السبب في ذلك إلى أن فرق ضغط بخار الماء بين 40°C و 80% رطوبة نسبية كان 95 ، 0 (كجم/م^٣) عند درجة حرارة 20°C ، بينما ارتفع هذا الفرق إلى 3 (كجم/م^٣) عند درجة حرارة للهواء 40°C . وقد تفشل أيضاً الرطوبة النسبية المنخفضة في زيادة معدلات التفتح إذا تسببت في إغلاق ثغرات الأوراق.

وقد أوضح ⁽³⁵⁾ (Krizek) أن وضع البذور في غرف إنبات ذات تصميم خاص مع رطوبة نسبية 65% والتحكم في كل العوامل الأخرى عند المستوى الأمثل قد أدى إلى زيادة معدل نمو البذور. وقد تم التحكم في عوامل بيئية أخرى عند مستويات مثلى.

وقد وجد في دراسة عن الجزر عدم إطلاق بَوَغات (*Alternaria dauri*) عندما كانت أوراق الجزر مبللة ^(٣٦). وقد تزايد إطلاق البوغات مع تجفيف الأوراق وخفض الرطوبة النسبية وزيادة سرعة الرياح.

وقد أوضح ⁽³⁶⁾ (Klueter et al.) أنه يجب عند التحكم في بيئة النبات المحافظة على رطوبة نسبية 60% . وقد أوضح آخرون أن زيادة الرطوبة النسبية من 40°C إلى 65% عند درجات حرارة $18/24^{\circ}\text{C}$ (نهار/ ليل) قد أدى إلى زيادة معدل نمو بذور الفتية الزرقاء الفصفضاة والبطونية الوردية وعُقاب الأكرتيون من مرتين إلى خمس مرات ^(٣٨). وقد نشر في بحث عدم وجود أي تأثير واضح على النباتات سالفة الذكر عند زيادة الرطوبة النسبية إلى 90% ^(٣٨). وقد أوضحت نفس الدراسات تأثير النمو جذرياً عند استخدام مستويات منخفضة من الرطوبة النسبية بالرغم من وجود مستويات مناسبة من الإضاءة ودرجات الحرارة.

وقد نشر في بحث ⁽³⁹⁾ (Krizek Ambler) دراسة عن ثلاث زراعات للقطن أوضحت أن نوع الوعاء سواء كان طَافَلياً أو بلاستيكيّاً كان لهما تأثير جوهري على امتصاص الفوسفور أكثر من تأثير الرطوبة النسبية. وقد أوضحت الدراسة أن أقصى امتصاص للفوسفور يتطلب رطوبة نسبية مرتفعة.

وقد أجريت دراسة في بيت محمي عن الطماطم، حيث تم تعريض بعض الثمار إلى ضوء الشمس وبعض آخر قد ظلّ بالأوراق وبعض ثالث تم دهانه باللون

الأبيض أو الأسود مع رطوبة نسبية من ٥٠ إلى ٧٠٪ و من ٧٠ إلى ٩٠٪ في مقابل رطوبة نسبية ٥٠٪. وقد وُجد أن درجات حرارة كل ثمار الطماطم كانت أقل عند رطوبات نسبية مرتفعة^(٤١). وقد أوضحت الدراسة أن النباتات الطويلة قد أظهرت مدى التأقلم البنائي والذي يمكن ربطه مع التربة وظروف رطوبة الهواء^(٤٢). وقد حدد الباحثون علاوة على ذلك "أن ما كتب في هذا الموضوع مشوش، كما أنه لا يوجد عمل كثير تم إنجازه بالنسبة لتأثير الرطوبة".

وقد قِيمَ (Rawson et al.)⁽⁴²⁾ استجابة الرطوبة النسبية بالنسبة لثمانية أصناف من نباتات تنمو تحت ظروف قريبة من الظروف المثالية. وقد وجد أن نقص ضغط البخار قد أثر على معدل التنح لكل الأصناف. ولم يتأثر البناء الضوئي عند تغيير المستوى الرطوبي المكافيء من ٨ إلى ٢٢ ملي بار من ضغط البخار.

ويتيح عن الرطوبة النسبية المرتفعة نباتات طويلة ممتلئة بالعُصارة، بينما تؤدي الرطوبة النسبية المنخفضة مع وجود درجات حرارة مرتفعة إلى حرق الأطراف النامية من النباتات. ويعتبر التأثير الثانوي للرطوبة النسبية خاصاً بنمو الكائنات الفطرية المسببة للأمراض. فقد لا يحدث إنبات ونمو لتلك الفطريات حتى تصل الرطوبة النسبية إلى ٩٥٪.

الضوء

(LIGHT)

تعتبر التأثيرات البيولوجية للضوء ودرجة حرارة الجو من أهم المواضيع التي تهتم الدارسين والباحثين في مجال البساتين والأبحاث البيئية. فتمد الطاقة الشمسية النبات داخل البيت المحمي بالضوء والإشعاع غير المرئي، بينما تستخدم أنواع عديدة من مصادر الإضاءة الصناعية داخل غرف تحكم بيئية لتزويد الإضاءة والتحكم في فترات داخل البيوت المحمية. ويوضح الجدول رقم (٣، ١٠) مقارنة لتوزيع الطاقة الإشعاعية بين مصادر إضاءة صناعية، وذلك بالمقارنة بضوء الشمس. ولقد كانت التأثيرات البيولوجية للأشعة غير المرئية، خاصة في المدى من ٧٥٠ إلى ٢٥٠٠ نانومتر -

جدول (١٠,٣). توزيع طاقة الإشعاع لمصادر إضاءة مختلفة لكل ١٠٠ واط إشعاع كلي

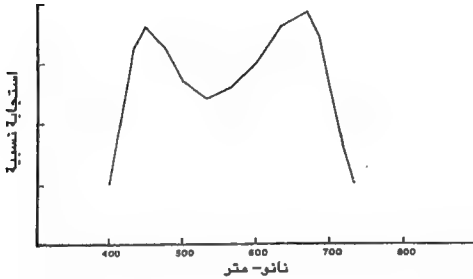
إشعاع كلي	حراري	تحت الحمراء	حمراء+ضوء	فوق البنفسجية
٢٧٠٠	٢٧٠٠-٨٥٠	٨٥٠-٤٠٠	٤٠٠	
م	م	م	م	م
واط	واط	واط	واط	واط
١٠٠	٦١	١	٣٦	٢
١٠٠	٤٧	٨	٤١	٤
١٠٠	٣٨	١٢	٥٠	٠,٤
١٠٠	٤١	٣	٥٦	٠,١
١٠٠	٩	٧٤	١٧	٠,٢
١٠٠	٢	٣٣	٥٩	٦

ملحوظة: نانو-م = 10^{-9} م

م مهمة لوقت قريب باستثناء تأثيرها في رفع درجة حرارة كل من الوسط والنبات .
وقد نشر حديثاً وجود بعض أصناف من النباتات حساسة-حرارياً وتتفاعل عكسياً
خاصةً مع الأشعة ذات الموجات الطويلة^(١٤٤).

الضوء والإشعاع (Light and Radiation)

تستجيب النباتات لكل من كمية وفترة الإضاءة . ويعتبر البناء الضوئي
الوظيفة الرئيسية للضوء، حيث تُحول طاقة الإشعاع كلاً من ثاني أكسيد الكربون
والماء إلى كربوهيدرات بواسطة عمليات كيميائية ضوئية وكيميائية حيوية . ويعتمد
طيف عمل البناء الضوئي التقليدي، الشكل رقم (٨, ١٠)، أساساً على طيف
امتصاص الكلوروفيل والذي يمكن الحصول عليه باستخدام كمية أشعة أقل من

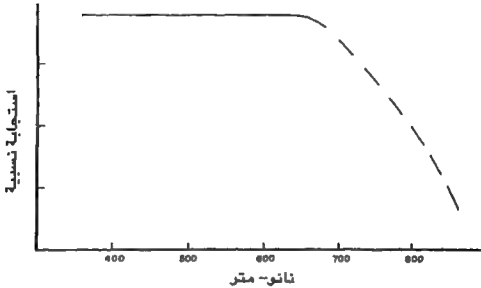


شكل (٨، ١٠). فعل البناء الضوئي التقليدي بناءً على امتصاص الكلوروفيل

الأشعة المتشعبة. ويعتبر منحنى الاستجابة للبناء الضوئي، والممثل في قمة المنطقة الحمراء والزرقاء في الطيف، مناسباً لأصناف قليلة؛ نظراً لاعتماد عملية البناء الضوئي على الطيف أو وجود مستويات طاقة منخفضة. وقد يستجيب البناء الضوئي لأغلب النباتات للإشعاع دون الاعتماد على الطيف في حالة توافر معدلات طاقة كافية، الشكل رقم (٩، ١٠).

وينظم الضوء أيضاً عملية التشكل والتطور. فقد تتطلب استجابات النباتات للضوء- والتي يتم التحكم فيها بواسطة مستويات طاقة منخفضة بدلاً من البناء الضوئي- فترات أقل ومتطلبات طيفية محددة. فنجد في بيئات ضوء النهار حدوث استجابات التشكل الضوئي عند مستويات إشعاعية لأقل نمو. ونجد في داخل المنشآت، حيث ضوء النهار غير متاح، أنه من الضروري إضافة مصابيح متوهجة إلى نظام الضوء الكثيف لإشباع المتطلبات الطيفية لاستجابات النمو.

ويمكن الحصول على الإضاءة الصناعية التي تستخدم لإطالة النهار من مصادر الضوء ذات الطاقة المنخفضة. وتحدث كل من تفاعلات الفترة الضوئية والتشكل

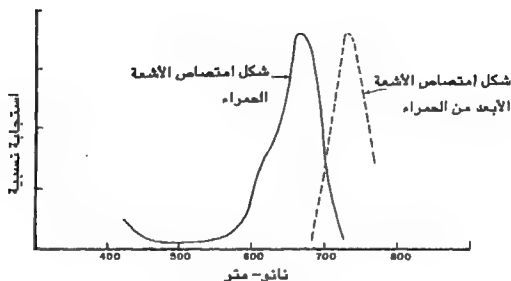


شكل (٩، ١٠). تأثير الطيف على النمو الحفري بناءً على المادة الجافة المتجة

الضوئي عند أو أقل من ٩، ٠ (واط/م^٢). وتستخدم المصابيح المتوهجة حيث تتطلب استجابات أقصى تشبع للفترة الضوئية والتشكل الضوئي انبعاث طيفي مساو لكمية من الأشعة الحمراء (٦٦٠ نانو-م) وتحت الحمراء (٧٣٠ نانو-م)، وذلك كما في الشكل رقم (١٠، ١٠).

مستويات الإشعاع لنمو النبات (Radiation Levels for plant growth)

تعيش النباتات لأغراض الزينة عند مستويات إضاءة منخفضة حتى ٣، ٠ واط/م^٢. ولا يوجد عند هذا المستوى المنخفض من الإضاءة أي تأثير على النمو. ونتيجة لذلك، فإن دورات ضوء/ ظلام وتفاعلات درجات الحرارة نادراً ما تجد اهتمام. ويتغير اختيار نوع المصابيح المستخدمة لتزويد هذا المستوى من الإضاءة مع مميزات التقنية في تصميم المصباح. ولكن في الغالب ما يتجه التركيز صوب أداء الألوان ونوع وسط الإضاءة المتولد في المحيط الفعال أو مكان العمل. وفي البيت،



شكل (١٠، ١٠). تأثير الطيف على التصوير الضوئي الملون

تعتبر تجميعية من مصابيح متوهجة براقية منخفضة القدرة مع مصابيح فلوروسنت من المصابيح المفضلة، كما تعتبر المصابيح ذات شدة التفريغ المرتفع أو المصابيح المتوهجة البراقية ذات القدرة المرتفعة هي من الاختيارات المفضلة في المناطق التجارية.

ويمكن الحصول على تنظيم لاستجابة الفترة الضوئية مع إشعاع شدته ٩، ٠ واط/م^٢. ويطلق على هذا الإشعاع تقليدياً "نظام إضاءة منخفض الشدة". ويتطلب من هذا النظام عمل ضوء معكوس وإضاءة صبغية ومستقبل ضوئي. ويعتبر مدى استجابة النبات (من إنبات واستطالة وامتداد وورقي وتزهير وإنتاج ثمار وتلوين) لنظام الإضاءة الصبغية شاملاً، ويتوقف التحكم في كل منها على مدى خبرة المربين التجاريين^(٥٥ إلى ٥٥). ولا تتساوى كل مصادر الإضاءة من حيث كفاءة تشغيل الضوء الصبغي ورد الفعل الضوئي. وقد رتب (Cathey and Campell)^(٥٦) في تسلسل نسبي نشاط استجابات فترات الإضاءة المنتظمة كالآتي: توهج، صوديوم

ذي ضغط عال، معدن الهاليد، فلوروسنت أبيض مبرد، زئبق نقي. وقد أضافا بعد ذلك أن مصابيح الصوديوم ذات الضغط المنخفض تعادل من حيث كفاءة التحكم في فترة الإضاءة الفلوروسنت. وتُسجَل مستويات الأشعة بوحدة واط لكل م^٢ (٤٠٠ - ٨٥٠ نانو-م) إلا إذا ذكر غير ذلك. ويحتوي الجدول رقم (٤، ١٠) على معاملات تحويل مصادر محددة إلى وحدات أخرى.

وتستخدم إنارة صناعية ذات مستوى منخفض لإطالة اليوم، والتي تعني أنه لا بد للنباتات من أن تنمو تحت مصدر إضاءة لمدة ٨ ساعات أو أكثر/ يوم. ويمكن أن يكون المصدر ذو شدة الإضاءة المرتفعة ضوء الشمس في البيت المحمي أو الضوء الصناعي في حجرة نمو النبات. ويمكن أيضاً استخدام الإضاءة في الحصول على أيام ذات نهار طويل عن طريق تقطيع فترة الظلام. وقد تحتاج بعض النباتات مثل فول الصويا لفترة تقطيع بالقرب من منتصف الليل لا تزيد على عدة دقائق. وقد تتطلب بعض الأصناف الأخرى مثل زهرة الذهب فترة تقطيع من ٣ إلى ٤ ساعات. ويمكن إحلال فترة التقطيع الطويلة ببرنامج إضاءة دوري بحيث تضاء المصابيح ٢٠٪ من الوقت (على سبيل المثال، ٢٠ ثانية/ دقيقة) أثناء فترة تقطيع ٤-ساعة.

وتُقسَّم النباتات إلى أربع مجموعات أساسية بالنسبة لفترة الإضاءة؛ يوم - قصير النهار، ويوم - طويل النهار، ويوم متوسط، ونباتات يوم - متعادل. ويعتبر تعريف كل من هذه الأنواع الأربعة ضرورياً لفهم الاستجابات لطول النهار.

وتحدث عملية تزهير نباتات يوم - قصير النهار فقط عندما يكون طول فترة النهار أقل من عدد الساعات الحرجة. ويؤثر قصر النهار عن الفترة الحرجة على عملية التزهير إلى الحد الذي قد يسبب قصر فترة الإضاءة في إعاقة عملية البناء الضوئي. ويوجد لدى بعض الأصناف ذات يوم - قصير النهار أطوال أيام حرجة للغاية، وسوف تحتاج تلك الأصناف إلى إضاءة مستمرة لعملية التزهير. ولا زالت تُقسَّم تلك النباتات على أنها نباتات يوم - قصير؛ نظراً لأن عملية التزهير تحدث بسرعة كبيرة في الأيام القصيرة.

وتُزهر النباتات التي تحتاج إلى يوم - طويل النهار فقط عندما تكون فترة الإضاءة اليومية أكبر من عدد الساعات الحرجة. وتستعمل العديد من تلك الأصناف

جدول (٤, ١٠). تحويل وحدات واط/م^٢ (٤٠٠-٨٥٠ نانو-م) إلى وحدات شمعة-قدم، ولاكس، أو ميكرواينشتاينوم لكل م^٢ وثانية (٤٠٠-٧٠٠ نانو-م)

المصدر	لاكس لكل واط/م ^٢	ميكرواينشتاينوم لكل واط/م ^٢
ضوء النهار	١٨٣	٣,٤
متوهج أو براق	١١٦	٢,٣
فلوروسنت		
أبيض بارد	٣٣٤	٤,٥
أبيض دافئ	٣٥٠	٤,٦
ضوء خفي		
زئبق	٣٥٦	٤,٢
معدن الهاليد	٢٩٢	٤,١
صوديوم تحت ضغط عالي	٢٩٦	٣,٦
صوديوم تحت ضغط منخفض	٤٥٩	٤,٣

ويتم الحصول على وحدات شمعة-قدم عن طريق قسمة الناتج بوحدات لاكس على ١٠

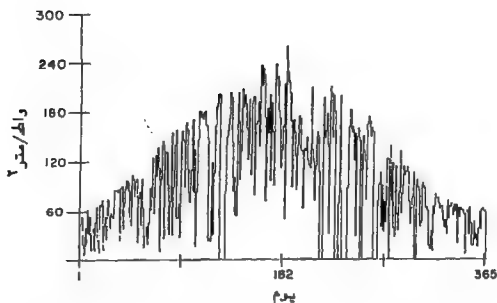
طريقة وَرَدِيَّة عندما تكون الأيام أقصر من الطول الحرج. وتستجيب النباتات الخشبية للأيام الطويلة بالاستمرار في عملية النمو، كما تذهب في سبات عند انخفاض فترة النهار إلى أقل من الفترة الحرجة.

وتُزهر النباتات التي تحتاج إلى يوم متوسط خلال مدى ضيق من طول النهار، عادةً ما بين ١٠ و ١٤ ساعة. وقد تفشل هذه النباتات في عملية التزهير وتتوقف عملية النمو إذا قل طول اليوم عن الطول الأمثل. وتزهر نباتات اليوم-المتعادل عندما تصل إلى حجم ملائم بصرف النظر عن طول النهار.

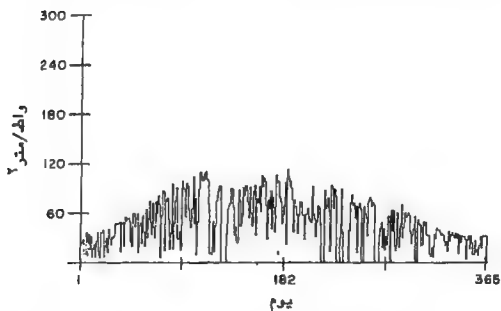
ويمكن أن تستمر النباتات في عملية النمو لعدة شهور عند التعرض لإشعاع شدته ٩ واط/م^٢. ويقوم مشرفو الحدائق بإتشاء مبان بسيطة نسبياً في التصميم مع استخدام مصابيح فلوروسنت توفر هذا المستوى من الإضاءة مع

استخدام تلك المصابيح مع مدى واسع من أصناف البذور والشتلات (٥٩، ٦٠، ٦١). ويجب استخدام الضوء عند الأطوار الأولية للنمو تحت هذه الظروف لمدة ٢٠ ساعة في اليوم لمساعد في تعويض الإشعاع المتوافر في فترات محددة فقط. وقد يكون معدل النمو عند مستوى إشعاعي ٩ واط/م^٢ بطيئاً مع زيادة النباتات في الحجم، وذلك بالمقارنة بالنمو عند كثافات تدفق إشعاعية عالية. ولكن سوف تنمي معظم الأصناف نباتات زينة خضراء داكنة وأوراق كبيرة. وتتطور عملية نقل الغذاء والمواد للمخزنة من الأوراق الأكبر في العمر إلى الأصغر بسرعة. وتبدأ النباتات في فقد ورقة كبيرة مع كل انبثاق جديدة. وسوف يؤدي استخدام طريقة دورة إضاءة ١٢ ساعة ضوء و ١٢ ساعة ظلام أيضاً تقليل عدد مرات الإرواء والتسميد إلى إحداث وسط ينخفض فيه معدل النمو، وكذلك عدد الأوراق الجديدة المنبثقة مع الاحتفاظ بمعظم الأوراق القديمة. ويستخدم حالياً وعاء-نمو نباتات زينة "متأقلمة" لمدة من ٤ إلى ١٥ أسبوعاً تحت مستوى إضاءة ٩ واط/م^٢ حتى يتم البيع للمستهلك (٦٢، ٦٣). ويمكن التعرف بسرعة على النباتات المتأقلمة عن طريق كل من معدل النمو البطيء والأوراق الخضراء الداكنة والتي تكون عريضة ومنبسطة، وأوراق جديدة قليلة، إذا وجدت، وأوراق قديمة مثابة في مجرى التربة.

ومع أنه يمكن للنباتات أن تبدأ من البذور والشتلات عند مستوى إشعاعي ٩ واط/م^٢، إلا أن الانتشار السريع يحدث عند التحول إلى ١٨ واط/م^٢ لفترة لا تقل عن ٦ إلى ٨ ساعات/يوم. ولجد بالنسبة لتطبيقات البيوت المحمية أن كمية كبيرة من أشعة الشمس الساقطة على البيت المحمي تفقد - من ١٢ إلى ٥٠٪ اعتماداً على السمات الشمسية وتصميم البيت المحمي - نتيجة للانعكاس والامتصاص بواسطة مادة الغطاء وهياكل المنشأة، الشكلا (١١، ١٠) و (١٢، ١٠). ولكن عادة ما يصل الضوء إلى مادة النبات إذا كانت شدته أعلى من ١٨ واط/م^٢. ويحاول مسؤولو التكاثر - للحد من دخول الضوء والحرارة المصاحبة له إلى منطقة التكاثر - خفض المستوى الإشعاعي عن طريق تغطية البيت المحمي بمقنيات متعادلة (متقى أبيض وشبكة مصنوعة من البلاستيك أو الأقمشة). وتحتفظ جذور الشتلات عند



شكل (١١, ١٠). مثال للإشعاع اليومي الخارجي (٤٠٠ نانو-م إلى ٨٥٠ نانو-م) لمنطقة واشنطن (حي كولومبيا).



شكل (١٢, ١٠). مثال للإشعاع اليومي داخل البيت للحمي (٤٠٠ نانو-م إلى ٨٥٠ نانو-م) لمنطقة واشنطن (حي كولومبيا).

هذا المستوى من الإشعاع بمعدل نحو مماثل كما لو كانت الشتلات متصلة بالنبات . ويمكن تنسيق طول الساق وأفرع وألوان أوراق النباتات التي تنمو عند ١٨ واط/م^٢ عن طريق معاملة كل من درجات الحرارة والماء والغذاء^(٦٤) . ويمكن الوصول بالعديد من النباتات التي تنمو للتزهير وإنتاج الثمار إلى النضج عند هذا المستوى من الإضاءة عن طريق زيادة فترة الإضاءة من ١٦ إلى ١٩ ساعة لبدء التزهير والنمو المبكر، ومن ثم خفض طول اليوم إلى المدى من ٨ إلى ١٢ ساعة للنمو . ولكن يبقى معدل النمو نسبياً بطيئاً^(٦٥، ٦٦) . ويجب نقل النباتات إلى نظام ضوئي يتيح استخدام من ٢٤ إلى ٥٠ واط/م^٢ ، وذلك للوصول إلى معدل نمو طبيعي أكثر .

البيوت المحمية (Greenhouses)

تنمو النباتات على مدار العام داخل البيوت المحمية إذا توافرت إضاءة طبيعية كافية، الجدول رقم (٥، ١٠) . ويوصى بتزويد الإضاءة الطبيعية في الشتاء، عندما تكون غير كافية بحوالي ٢٤ واط/م^٢ من ٨ إلى ١٦ ساعة/يوم من مصادر الإضاءة الصناعية المختلفة . ويمكن أن يقلد ذلك الإشعاع - عندما يندمج مع ضوء الشمس الذي يصل إلى النباتات من خلال غطاء البيت المحمي - العديد من استجابات النمو والمعدلات المرتبطة بدراسات غرف النمو^(٦٧، ٦٨) . ومع أن فعاليات التشكل الضوئي لضوء الشمس حتى تحت ظروف إضاءة - خافتة في منتصف الشتاء تعتبر كافية لتنظيم العديد من استجابات النمو، إلا أن تزويد الإشعاع عند مستوى ٢٤ واط/م^٢ يعتبر أيضاً ضرورياً لرفع معدلات النمو وجعل البيئة وسطاً ملائماً للنمو السريع والتزهير المبكر^(٦٩، ٧٠) . ونظراً لأن معظم المحاصيل المستخدمة في البيوت المحمية تعتمد على الكم في استجاباتها لفترة الضوء، إلا أن الإضاءة المضافة قد تؤدي إلى تجميع استجابات النمو تحت مجموعة واحدة : التعجيل بالنمو والتزهير المبكر^(٧٣) . ويقل معدل نمو النباتات في البيوت المحمية في حالة عدم إضافة الإضاءة الصناعية، كما تتأخر عملية التزهير، وذلك بالمقارنة بالنباتات التي تضاف إليها الإضاءة الصناعية . وتعتبر دورة فترة الإضاءة التزايدية وموقعها من خلال الأربع وعشرين ساعة حرجة للغاية . فالإضاءة المضافة لمدة ثماني ساعات خاصة في النهار (٨٠٠ إلى ١٦٠٠) ليست بكفاءة الإضاءة في الليل من (٢٠٠٠ إلى ٢٤٠٠) ساعة .

جدول (١٠, ٥). الطاقة الشمسية الساقطة على أجزاء مختلفة من الولايات المتحدة، واط/م^٢

شمال-شرق	جنوب-شرق	وسط-غرب	شمال-غرب	جنوب-غرب	
يناير	*٣٦	*٦٠	*٦٠	*٤٥	*٨٢
إبريل	١٠٥	١٤٢	١٣٥	١٤٢	١٨٠
يوليو	١٥٨	١٦٥	١٨٠	١٩٥	٢١٠
أكتوبر	٧٥	٩٨	٩٨	٨١	١٢٠

* تعتبر تلك القيم أقل من المعدل الطبيعي لنمو النباتات في بيت محمي ذو معامل نفاذية للإشعاع من ٥٠ إلى ٦٠ في المائة.

ولا يوجد في أي من الطريقتين السابقتين أفضل من الإضاءة لمدة ١٦ ساعة تبدأ من الصباح حتى منتصف الليل (٨٠٠ إلى ٢٤٠٠). ولا يوصى باستخدام الإضاءة المستمرة؛ نظراً لحدوث تشعب لأوراق النبتة متبوعاً بفقد مفاجيء لكل الخضاب المرئي في الأوراق العلوية. ويمكن تخفيف حدة الشحوب اليخضوري بتزويد النباتات بأربع ساعات ظلام على الأقل كل يوم، مع زيادة أو خفض درجة الحرارة من ٢ إلى ٤ م والمحافظة على رطوبة نسبية مرتفعة ورش أوراق النبتة بمحاليل عناصر غذائية.

ومحافظ الأشجار النفضية أو التي تطرح أوراقها سنوياً على النمو الخضري لعدة شهور عند استخدام إضاءة من مصابيح متوهجة شدتها ٩ واط/م^٢، ولكن سوف تذهب الأشجار النفضية غالباً في سبات أو تعمل على تطوير ألوان شاذة للأوراق عندما تتعرض للإضاءة من مصابيح شديدة التوهج. وتعتبر الإضاءة بالنسبة للنباتات قصيرة-النهار مثل فول الصويا والأقحوان والبونسية نسبياً غير كافية؛ نظراً لأنه يمكن الإضاءة فقط من خلال فترة يوم من ٨ إلى ١٢ ساعة والتي لا بد وأن يتبعها فترة إظلام إلزامية من ١٢ إلى ١٦ ساعة^(٧٥).

ويمكن أن تنمو النباتات على نحو مرضٍ في حجرات مكيفة إذا كان الإشعاع

على الأقل ٥٠ واط/م^٢. وبالرغم من أن هذا المستوى من الإضاءة يمثل حوالي ربع الإضاءة المسجلة في خارج الحجرات، إلا أنه يمكن استخدامه لتمثيل العديد من ظروف النمو^(٧٦، ٧٩ إلى ٧٩). ولا يمكن القول إنه توجد مصادر إضاءة قياسية يمكن استخدامها في غرف نمو النباتات^(٨١، ٨٢). وتستخدم مصابيح الفلوروسنت البيضاء المبردة لأكثر من ٣٠ عاماً^(٨٣، ٨٤). ويتم حديثاً إحلال مصابيح شديدة التفريغ بدلاً من المصابيح الفلوروسنت^(٨٥، ٨٤). وتتطلب الإضاءة الداخلية حاجزاً زجاجياً أو أي مواد ذات نفاذية توضع بين المصابيح ومنطقة التربة. ويفضل وجود نظام تهوية منفصل في علبة المصابيح للتخلص من الحرارة التي قد تتزايد في الحيز المغلق. وقد لا تستطيع الحواجز أو سريان الهواء التخلص نهائياً من الإشعاع الحراري، وذلك نتيجة لاختلافات تصنيع غرف الإنبات وصعوبة الوصول إلى المواصفات القياسية. ويعتبر العجز في الحصول على مواصفات قياسية لغرف الإنبات السبب الأساسي في تشوش المعلومات عن نمو النباتات والتزهير في منشآت تحكم بيئي، وذلك بالمقارنة بما ينمو في داخل وخارج البيوت المحمية.

ويعتبر استخدام مصدر إضاءة مفرد في الغالب غير كاف لغرف نمو النباتات، وعادةً ما تنضاف مصابيح متوهجة^(١٣، ١٤، ١٤٧). وقد وجد^{(١٤٥) (Cathey et al.)} على سبيل المثال، أن معظم النباتات تنمو بنجاح عندما تكون شدة الإشعاع ٥٠ واط/م^٢، وأنه قد تم الحصول على ١٠ إلى ٢٠٪ من هذه الطاقة باستخدام مصابيح متوهجة. وقد أصبح من الصعب استخدام غرف نمو النباتات التي تتيح إشعاع أكبر من ٥٠ واط/م^٢ في تتبع الشكل الطبيعي لنمو النباتات. ويرجع السبب في ذلك إلى العديد من المفاهيم البيئية غير المتحكم فيها، والتي أصبحت أكثر تعقيداً مما يصعب على قدرتنا تقييم تلك التطورات^(٨٩، ٩٠).

تركيب الهواء (Air Composition)

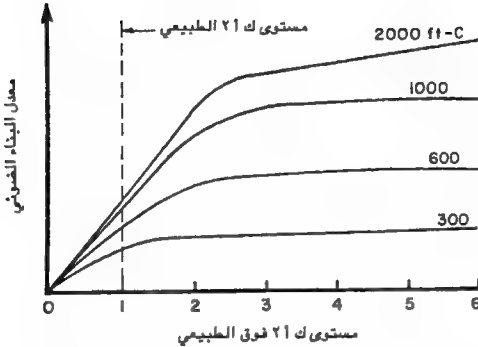
يتركب الهواء في وضعه الطبيعي من نسب متغيرة من غازات عديدة. وقد تزداد نسب بعض تلك الغازات في المناطق الصناعية والمدن المزدحمة بالسكان عن بعض مناطق أخرى كالريف مثلاً. وقد تكون بعض تراكيز تلك الغازات سامة لنمو النبات. وبالرغم من أن غاز مثل ثاني أكسيد الكربون (كأ) لا يمثل تركيزه أكثر من

٠,٣ إلى ٠,٣٥ ٪، إلا أنه يعتبر ضرورياً للغاية لنمو النبات. فيدخل غاز ثاني أكسيد الكربون في خلايا النبات من خلال ثغيرات الأوراق مع عملية البناء الضوئي، ثم يتحول إلى كربوهيدرات تستخدم فيما بعد كطاقة وكمصدر للمادة الرئيسية لنمو خلايا النبات.

و يتأثر معدل البناء الضوئي - كما يتوقع - بمستوى (ك أ) في الوسط المحيط بالنبات. ويمكن ملاحظة انخفاض في النمو إذا حدث انخفاض في مستوى (ك أ) إلى أقل من المستويات الطبيعية داخل الغرف المغلقة. وبالعكس، عادة ما يتولد عن زيادة مستويات (ك أ) زيادة في معدل البناء الضوئي. ويعتمد تركيز (ك أ) الذي يحقق أقصى نمو على كل من المرحلة التي ينمو فيها النبات ومساحة الأوراق وشدة الإضاءة ودرجة الحرارة وسرعة الهواء المار عند ثغيرات الورقة.

وتعتبر العلاقة بين تركيز (ك أ) والضوء من أكثر العلاقات ارتباطاً ومعروفة منذ سنوات عديدة، الشكل رقم (١٣، ١٠). فزيادة مستويات الإضاءة لا بد وأن يتبعه زيادة في تركيز (ك أ) إذا كان الهدف المحافظة على عملية البناء الضوئي. وقد اتضح منذ بداية الخمسينات أن زيادة (ك أ) في البيوت المحمية المحكمة الغلق قد يتبعه من الناحية العملية زيادة الإنتاجية^(٩١). وقد أوضحت تلك الدراسة وغيرها من الدراسات أنه يمكن في الحقيقة خفض مستويات (ك أ) إلى أقل من ٢٠٠ جزء في المليون في البيوت المحمية المحكمة الغلق إذا كانت مستويات الإضاءة كافية^(٩١، ٩٢). وقد تصبح عملية البناء الضوئي عند حدوث ذلك محدودة بدورها.

وتتم عملية البناء الضوئي عند أقصاها بالنسبة للعديد من النباتات عند مستويات طبيعية من غاز (ك أ) وعند حوالي ٢٠ كيلو لاس من الضوء. ويجب عند زيادة تركيز (ك أ) زيادة مستوى الإضاءة المطلوب للتشبع أيضاً. وقد اتضح من إحدى الدراسات على الورود حدوث أقصى بناء ضوئي عند ٣٤ كيلو لاس وتركيز من غاز (ك أ) ٥٠٠ جزء في المليون، بينما حدث أقصى بناء ضوئي عندما كانت نسبة تركيز (ك أ) ١٠٠٠ جزء في المليون وشدة إضاءة أعلى من ٤٠ كيلو لاس^(٩٤، ٩٣). وقد أوضحت تلك النتائج أنه بالنسبة للمناطق ذات مستويات إضاءة مرتفعة، فإنه يمكن الحصول على أقصى منفعة من الضوء المتاح عن طريق تغذية ثاني أكسيد الكربون.



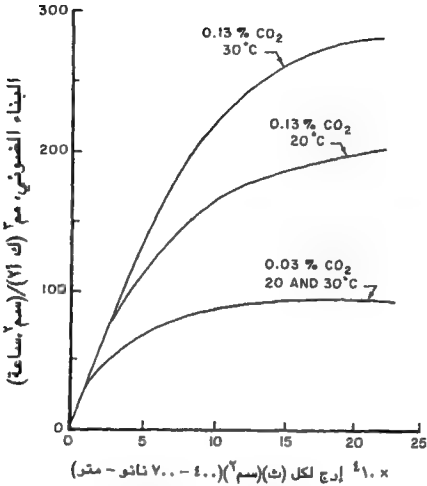
شكل (١٣، ١٠). العلاقة بين تركيز ك ٢ وشدة الضوء على عملية البناء الضوئي للقمح

ويكون عكس ذلك أيضاً صحيحاً، بمعنى أنه يمكن عامة الحصول على زيادة في البناء الضوئي مع تغذية (ك أ ٢) عند كل مستويات الإضاءة، وأن معدل الزيادة يتناقص عندما يصبح الضوء محدوداً. ويمكن توضيح ذلك كما في الشكل رقم (١٣، ١٠). فنجد - عند انخفاض مستوى الإضاءة - انخفاض معدل استجابة البناء الضوئي مع زيادة تركيز (ك أ ٢). ونتيجة لذلك، فقد أجريت دراسات على تغذية عدد من البيوت المحمية بغاز (ك أ ٢) في مناطق تبعد كثيراً شمال خط الاستواء حيث ضوء الشمس يكون نسبياً منخفضاً. وقد أوضحت تلك النتائج عدم الحصول على نفس المنافع التي تحصل عليها من تغذية (ك أ ٢) بالنسبة للمناطق ذات ظروف إضاءة مفضلة. وقد أوضحت النتائج أن تزويد الإضاءة مجتمعة مع تغذية (ك أ ٢) في المناطق الشمالية قد أدت إلى تحسن الإنتاجية عن التحسن الكلي الذي حدث عندما استخدمت هذه التعديلات كل على حدة في البيت المحمي^(١١).

وتوجد أيضاً درجة حرارة الجو بالإضافة إلى تراكيز ك^٢ وشدّة الإضاءة، والتي ثبت أن لها تأثيراً مباشراً على معدل البناء الضوئي. فيتضاعف معدل البناء الضوئي تحت ظروف محددة ومدى من درجات الحرارة ينصح باستخدامه مع كل زيادة في درجة الحرارة ١٠°م^(٩١). ويعتبر التفاعل بين درجة حرارة اليوم وتركيز (ك^٢ أ) في الجو - الشكل رقم (١٤، ١٥) - إيجابياً مع استجابة متزايدة لتغذية (ك^٢ أ) عن زيادة درجة الحرارة^(٩٥).

ولم تظهر العلاقة المتبادلة بوضوح في المنشآت الإنتاجية حيث تتذبذب درجات الحرارة^(٩١، ٩٦). وسوف يؤدي ارتفاع درجة الحرارة - بالإضافة إلى التأثير على عملية البناء الضوئي - أيضاً إلى زيادة التسح. فإذا كانت عملية البناء الضوئي محدودة لعدم كفاية الإضاءة أو أي عامل آخر، فسوف ينتج عن زيادة معدل التسح فقد للكربوهيدرات واحتمال انخفاض جودة الإنتاج.

وقد تظهر مشكلة أخرى تضاف إلى مشاكل الإنتاجية وهي تراكم الحرارة في البيت المحمي عندما تزداد شدة الإضاءة الطبيعية. وقد تصبح تلك الحرارة أيضاً كبيرة بحيث كثيراً ما تتطلب الحاجة إلى التهوية. وقد تصبح تراكيز (ك^٢ أ) بسرعة غير عملية عند استخدام التهوية حتى ولو بمعدلات منخفضة. وتعتبر النقطة التي تصبح عندها التهوية ضرورية دالة في الإشعاع الشمسي الداخل إلى البيت المحمي ودرجة الحرارة الخارجية ونوع المحصول الذي ينمو ومعدل البخر - تسح ودرجة الحرارة الداخلية التي تبدأ عندها التهوية. وعلى ذلك يمكن خفض الحرارة المتراكمة باستخدام أغطية تظليل فوق غطاء البيت المحمي. وقد يكون ذلك غير مرغوب في الشتاء عندما يكون الضوء غالباً العامل المحدد للنمو. وتعتبر درجة حرارة التهوية الداخلية العامل الأساسي الذي يمكن أن يتأثر. وفي الغالب ما تكون الزيادة في معدل البناء الضوئي - عند التغذية بغاز (ك^٢ أ) - وعند توافر أشعة شمسية كافية - أكبر جذرياً من فقد الكربوهيدرات نتيجة زيادة التسح. ويمكن رفع درجة الحرارة الداخلية عند هذه الظروف عن طريق تأخير بداية عملية التهوية. فعلى سبيل المثال، أوضحت دراسة أجريت في ولاية كولورادو في عام ١٩٧٢ أنه يمكن تشغيل بيت محمي كنظام مغلق تماماً لمدة الثلاثة شهور الشتوية الباردة إذا سمح لدرجة الحرارة الداخلية بالارتفاع إلى ٣٠°م^(٩١).



شكل (١٤، ١٠). البناء الضوئي لورقة خيار عند كل من التراكيز المنخفضة والمتشعبة تحت ظروف إضاءة متوهجة (١٣).

وتعتبر عملية تكيف النبات أيضاً من العوامل المهمة وخاصة بالنسبة للنباتات التي إذا تعرضت لمعدلات إضاءة منخفضة الشدة سوف تُظهر معدل امتصاص منخفضاً من (ك أ)، وذلك بالمقارنة بالنباتات التي لم يحدث لها عملية تكيف عند مستويات إضاءة مرتفعة. ويوجد بالإضافة إلى العوامل البيئية السالفة الذكر تأثيرات راجعة أيضاً إلى أنواع وأصناف النباتات.

وكما تم توضيحه سابقاً، لا تعني زيادة تركيز (ك أ) دائماً زيادة في الإنتاج والجودة. فيمكن أن يزداد الإنتاج وتنخفض الجودة، ويمكن أن ينخفض الاثنان معاً.

ويعتبر توقيت نضج المحصول أيضاً معقد عند تطبيق التغذية بثاني أكسيد الكربون؛ نظراً لتعقيدات اتخاذ التدابير الإدارية المناسبة والخاصة بتوجيه العامل إلى العمليات المطلوب تنفيذها.

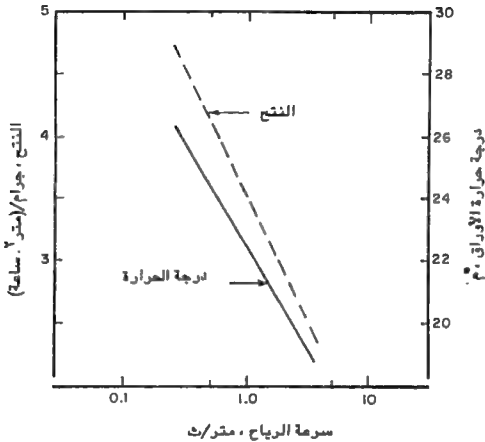
الملوثات (Pollutants)

تعتبر النباتات حساسة للملوثات مثل الإيثيلين والأوزون والأكاسيد الأخرى التي تتولد في الجو. ويسبب التلوث ظهور بقع صغيرة على أوراق النباتات، كما تتلون معظم الأوراق باللون الأصفر في حالة الإصابات الشديدة. ويحدث التأثير في كل من الجو الخارجي وداخل البيوت المحمية. ويمكن خفض الملوثات في الداخل باستخدام مرشحات فحم نباتي منشط في نظام التهوية، ولكن نادراً ما يستخدم ذلك في البيوت المحمية التجارية.

وعالياً ما يتولد غاز الإيثيلين مع غازات العادم الناجمة من تجهيزات الاحتراق الغازية والبتروولية. وتعتبر النباتات حساسة للغاية بالنسبة لغاز الإيثيلين مع ظهور الإصابات حتى عند تراكيز أقل من واحد جزء في المليون^(٩٧). وعلى ذلك، فإنه يوصى عامة بالتخلص بواسطة التهوية من كل نواتج احتراق تجهيزات التدفئة في البيوت المحمية. ويتولد الإيثيلين أيضاً بواسطة النباتات وآلات الاحتراق الداخلي ومن احتراق الفحم. وقد يتسبب عن تغطية وإحكام البيوت المحمية لتوفير الطاقة زيادة في تراكيز الإيثيلين والملوثات الأخرى المتولدة في حين النمو؛ نظراً لانخفاض معدل تسرب الهواء من البيت المحمي.

حركة الهواء (Air Movement)

تعتبر سرعة الهواء متغيراً يتضمن كمية واتجاهاً. وعادة ما يشار للسرعة في الزراعات المحمية بالكمية دون الاتجاه. وتؤثر حركة الهواء في العديد من العوامل التي تؤثر على نمو النبات مثل التفتح، الشكل رقم (١٥، ١٠)، والبخر والكميات المتاحة من ثاني أكسيد الكربون لعملية البناء الضوئي^(٩٨، ٩٩). وتتأثر درجة حرارة الورقة أيضاً بطريق مباشر بسرعة الرياح وبطريق غير مباشر بالبخر كنتيجة من



شكل (١٥، ١٠). العلاقة بين سرعة الرياح ودرجة حرارة ورقة النبات والنتح عند درجة حرارة للهواء ١٥ °م ورطوبة نسبية ٩٥٪.

الرياح^(١٠١، ١٠٠، ٥).

وقد لخص⁽⁹⁹⁾ Grace حديثاً مدى استجابة الأوراق الفردية والنباتات ككل للرياح، كما وصف طرق القياس والتحكم في سريان الهواء. ويصف هذا الكتاب أيضاً صعوبات الحصول على قياسات ذات معنى لحركة الهواء وتغير سرعته تحت ظروف تجريبية. وقد ذكر⁽¹⁰²⁾ Krizek العديد من المراجع التي درست تأثيرات حركة الهواء على النباتات، كما تضمنت أنواع القياسات الأساسية والمستخدمة لسريان الهواء.

وتعتبر سرعة هواء من ٠,٥ - ٧,٠ (م/ث) سرعة مثلى لنمو النباتات تحت ظروف مهيئة؛ لكن اقترح بعض الباحثات سرعات مرتفعة حتى ١,٥ (م/ث) بدون وجود أي تأثيرات ضارة^(١٠٢,١١). عامةً، تسهل سرعات للهواء من ٠,١ - ٠,٢٥ (م/ث) والمارة متعامدة على سطح النبات من عملية امتصاص ثاني أكسيد الكربون. وينخفض معدل امتصاص (ك أ ٢) عند سرعة للهواء ٥,٠ (م/ث). ويكبت معدل النمو عند زيادة سرعات الهواء ١,٠ (م/ث) أو أعلى، بينما يحدث تلف في بناء النباتات عند سرعات أعلى من ٤,٥ (م/ث).

وتختلف الأصناف جوهرياً بالنسبة لاستجابة البناء الضوئي للرياح^(١٠٣,١١). وقد أوضحت دراسة متضمنة عدة أصناف خشبية- عند سرعات للرياح في المدى من صفر إلى ٢٠ (م/ث) وعند نسب إشعاعات مرتفعة- أن معدلي النتج والبناء الضوئي يتناقصان معاً بزيادة سرعة الرياح، مع أنه ليست هذه في الغالب هي الحالة. وقد ارتفع معدل النتج بالنسبة للصف (Atrius viridis) بينما تناقص معدل البناء الضوئي؛ والعكس كان أيضاً صحيحاً بالنسبة لـ (Pinus cembra). ومن الناحية الأخرى، أوضحت التجارب على النباتات الوردية (أو الرودود ندرن) انخفاض كل من معدل النتج والبناء الضوئي ولكن ليست في حالات متوازية؛ فقد انخفض معدل البناء الضوئي إلى الصفر عند سرعة ١٥ (م/ث) بينما كان النتج لا يزال مرتفعاً نسبياً.

وقد تحدث إعاقلة لسريان الهواء فوق ورقة نبات - أو سطح آخر - بسبب الاحتكاك. ونتيجة لذلك، يتطور شكل سرعة الهواء بحيث إن السرعة عند السطح تصبح صفرًا. وتسمى المنطقة التي تنخفض عندها السرعة بالطبقة الحدية (boundary layer). وتحدد طبيعة وسمك الطبقة الحدية معدل الانتشار الحراري وبخار الماء وتركيز ثاني أكسيد الكربون بين أنسجة الورقة والهواء المحيط^(١١). ويعتمد سمك الطبقة الحدية على سرعة الرياح وشكل وحجم الورقة. وتكون القيمة الدقيقة لسمك الطبقة حوالي ١ م عند سرعة ظاهرية للرياح ١,٠ (م/ث)^(١٠٤). وتنخفض مقاومة الطبقة الحدية لحركة الهواء عبر سطح الورقة مع زيادة سرعة الهواء، وهكذا يزداد البخر وانتقال الحرارة وحركة ثاني أكسيد الكربون في الورقة. وتصبح مقاومة

الطبقة الحدية مهملة عند سرعات للهواء أعلى من ٨٩, ٠ (م/ث) (١٠٢).

وتوصي التطبيقات العملية والهندسية (Heating and Ventilating Greenhouses) والمنشورة بواسطة (ASAE, 1981) أن لا تزيد سرعة الهواء عبر النباتات في البيت المحمي عن ٠, ١ (م/ث). وقد يؤثر هواء التهوية أيضاً بطريقة غير مباشرة- بالإضافة إلى التأثير على الانتشار- على فيسيولوجيا وتشتيت الحشرات والميكروبات الممرضة، والتي قد تقطن على سطح الورقة (٩٩).

وتوضح الأبحاث الحديثة أن النباتات قد تكون حساسة للغاية لعملية الهز أو للذبذبات الميكانيكية (٩٩). فقد وجد بناءً على ورقة بحثية حديثة أن هز نبات الطماطم بمعدل ١٠ هزات/يوم قد أدت إلى تقليل النمو بنسبة ٦٠٪ عن النبات غير المهزوز (٣٥). ويمكن تطبيق الإجهادات الميكانيكية بعدة طرق متضمنة الهز اليدوي أو الاحتكاك أو الرش باستخدام ماء أو بدفع رياح. وتسبب تلك النتائج خسائر كبيرة لمربي النباتات في البيوت المحمية، خاصةً تلك التي تستخدم تهوية في المنشآت.

بيئة الجذور

(THE ROOT ENVIRONMENT)

الوسط الجذري (Rooting Media)

يجب أن تسمح المادة التي ينمو فيها النبات بحرية حصول الجذور على كمية ملائمة من الماء والغذاء والأكسجين. ويجب نتيجة لذلك أن تكون المادة جيدة الصرف، ولكن مع المحافظة على رطوبة كافية لتجنب الإجهاد المائي. وترتبط خاصية الاحتفاظ بالماء والتهوية بمسامية المادة المحيطة بالجذر. ولكن يمكن أن تصبح علاقات حجم-هواء مضللة؛ نظراً لأن تلك العلاقات لا توضح حجم المسامات في المادة. فسوف يحدث صرف سريع للماء إذا كانت مسامات المادة كبيرة الحجم مع سعة احتفاظ بالماء أقل عن المادة التي لها نفس المسامية الكلية، ولكن تحتوي على مسامات صغيرة الحجم. فعلى سبيل المثال، يحتوي لحاء الخشب الأحمر وقصب الأسفغوم (نوع من الطحالب) على نفس المسامية الكلية، ولكن نجد بالمقارنة

بالقصب أن الحيز الهوائي في اللحاء بعد الصرف يصل إلى الضعف، بينما سعة الاحتفاظ بالماء تنخفض إلى النصف. وكتوصية عامة، ينبغي على المادة المحيطة بالجذور أن تحتوي على أكثر من ١٠٪ من حجمها فراغات، وذلك عند سعتها الحقلية^(١٥).

وتستخدم الأرض الطبيعية المتاحة على مدى السنين كوسط تقليدي لنمو نباتات البيوت المحمية. ولكن في بعض الأحيان تتغير الأراضي في تركيبها وتكلفتها مع صعوبة الحصول عليها. وتعتبر عملية خلط طبقات التربة بالمواد العضوية مثل روث البهائم وأوراق الأشجار ونجارة الخشب من العوامل التي تساعد على تحسن المسامية مع الاحتفاظ بالرطوبة. ولكن عادةً ما يكون العديد من مواد الخلط كالسماد البلدي وأوراق الأشجار غير متوافرة للباحث أو المربي. ونتيجة لذلك، فقد أصبح من الشائع جداً وجود مخلوطات تربة مركبة. ومن الأنواع الأكثر شيوعاً واستخداماً مخلوطات حفور الخث أو مخلوطات القرائيا^(١٦). وتتضمن المواد الأخرى الشائعة الاستخدام كمواد صناعية والتي يمكن إضافتها إلى التربة كمحسنات كلاً من البرليت والزجاج البركاني والرمل والزلط ولحاء ممزقاً أو مخلوطاً من هذه المواد.

وقد وجد أن النباتات تنمو بازدهار أو أفضل في التربة الصناعية كما تنمو في التربة الطبيعية^(١٧،١٨،١٩). ولا يمكن في نفس الوقت افتراض الحصول على نتائج متساوية خاصة بالنمو في كل الأوساط التي يتم توليفها.

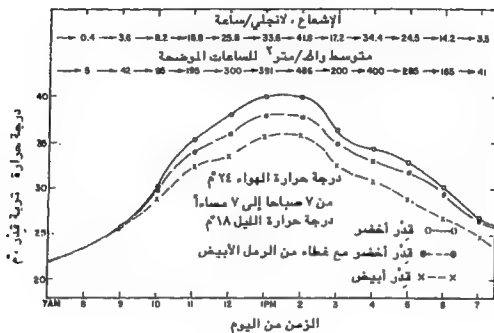
ويجب في حالة استخدام مواد صناعية كلياً إضافة محلول مغذ على فترات، حيث تنخفض مستويات التغذية للغاية في العديد من هذه المواد. وتتطلب عملية الاستنبات في أوساط دون التربة، والتي يطلق عليها في بعض الأحيان بالزراعة المائية، شخصاً ذا خبرة ومدرباً ولديه الخلفية العلمية في كل من فيسيولوجيا النبات وأمراض النبات والكيمياء. وقد تمت دراسة الخصائص الطبيعية للعديد من المواد الصناعية بالتفصيل، ولكن لم تتوافر في حالات كثيرة المعلومات التي تصف الكفاءة البيولوجية النسبية لتلك المواد^(١٧،١٩،١١٠).

ويسمح إنتاج المواد الصناعية بالوصول إلى الوسط القياسي للنمو، كما يساعد على توفير الظروف الضرورية للوصول إلى المستويات القياسية والري الآلي والبرامج التغذوية. وتوجد مميزات كثيرة للغاية بالنسبة لاستخدام المواد الصناعية لدرجة أن مجموعة النباتات التي تنمو بمعدل ثابت في الأوعية أصبحت تنمو بمعدل مطرد.

درجة حرارة الوسط المحيط بالجلدور (Rooting Media Temperature)

تعتبر درجات حرارة المواد داخل الأوعية عادة مرادفة لدرجات حرارة الجذور، وفي الغالب ما تعتبر مرتبطة ارتباطاً وثيقاً بدرجات حرارة الهواء. ويعتبر ذلك حقيقة في البيوت المحمية ذات نسبة إظللال مرتفعة، وخاصةً إذا كان النبات كبير الحجم بقدر كاف لإظللال منطقة سطح التربة فوق الجلدور. ويتولد الارتفاع في درجة حرارة الوسط الجلدوري عن درجة حرارة الهواء أساساً من امتصاص الطاقة الإشعاعية. أما في البيوت المحمية غير المغطاة، فإنه من الواضح أن الموقف يختلف تماماً.

وتكون درجة حرارة مادة التربة في قدر دائماً تقريباً أعلى مما لو كانت في طبقة تربة، كما سوف تتغير مع لون وتركيب وقُسحة القدر^(١١١). وعامةً تكون درجة حرارة المادة منخفضة في القدر الطينية عن البلاستيكية نتيجة للتبخير من حوائط القدر المسامية^(٣٣). وقد نشر في بحث أن بعض النباتات مثل الفَتِيَّة والبَطُونِيَّة، تنمو بمعدل أفضل في قدور بلاستيكية عن القدر الطينية عند رطوبات نسبية منخفضة للهواء (٤٠٪)، ولكن ليست عند رطوبات نسبية مرتفعة (٦٥ إلى ٨٠٪)^(٣٨)؛ ومن الأرجح أن يكون سبب ذلك راجعاً أكثر إلى انخفاض الماء المتاح في القدرة الطينية عن انخفاض درجة حرارة التربة. ولكن، يمكن أن تكون درجات حرارة الجلدور في القدر البلاستيكية أفضل من المثلى عند درجات حرارة للهواء مرتفعة للغاية. وعلاوةً على ذلك، يمكن أن تكون المادة التي في قدور بلاستيكية بيضاء عند درجة حرارة أقل مما لو كانت في قدور خضراء أو سوداء، وذلك لارتفاع معامل انعكاس حائط القدر الأبيض، الشكل رقم (١٦، ١٠). ولكن، يجب ملاحظة أن القدر البيضاء تسمح



شكل (١٦، ١٠). تأثير استخدام قدور بلاستيكية على درجة حرارة التربة في غرفة نمو للنباتات عند درجة حرارة نهار وليل ٢٤ و ١٨ م° على الترتيب.

باختراق أشعة مرئية كافية تعمل على كبت نمو جذور أصناف محددة، كما تساعد في نمو الطحالب عند السطح المشترك بين المادة وسطح القدر^(١٢٢).

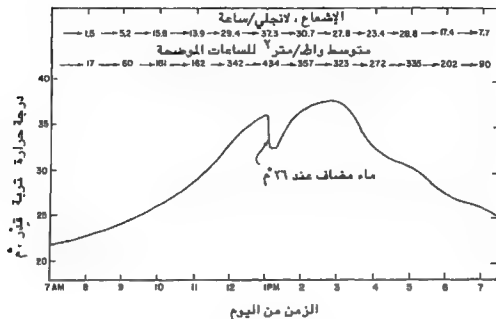
وتعتبر الطاقة الإشعاعية العامل الأول المسؤول عن ارتفاع درجة الحرارة في المادة إلى أعلى من درجة حرارة الجو. وعلى ذلك نجد أن المادة السوداء لها درجة حرارة أعلى من المادة فاتحة اللون. ويمكن خفض درجة حرارة المادة السوداء بوضع

طبقة سطحية من الرمل الأبيض أو البرليت (الزجاج البركاني)، الشكل رقم (١٦، ١٠). وعلاوة على ذلك، نجد أن درجة حرارة المادة المحيطة بالجذور تزداد انخفاضاً بنمو النباتات؛ نظراً لأن حجم النباتات يصل إلى الحد الذي يظل على سطح المادة المحيطة بالجذور. وسوف ينتج أيضاً عن الكتلة الحرارية في المادة المحيطة بالجذر تغير في درجة حرارة الجذر بمعدل أقل بكثير من الهواء عندما تتبادل درجات حرارة نهار/ ليل لإشباع متطلبات الدورية الحرارية.

ومن النادر ما يؤخذ تأثير درجة حرارة كل من الماء والمحلول الغذائي في الاعتبار، مع أن ذلك قد يؤثر ويغير من درجة حرارة الجذور. فنجد في معظم الحالات أن درجة حرارة الجذر تتناقص عند كل إضافة للماء، الشكل رقم (١٧، ١٠). ويتوقف هذا الانخفاض على درجة حرارة الماء. ويعتمد الوقت اللازم بعد إضافة الماء والمطلوب لعودة درجة الحرارة إلى مستواها قبل الإضافة على كمية الطاقة الإشعاعية ونوع المادة المحيطة بالجذور ودرجة حرارة الجو وبالطبع درجة حرارة الماء المضاف. وقد يكبت نمو بعض الأصناف الاستوائية عند درجات حرارة للماء أقل من ١٠°م، ويعتبر ذلك شائع الحدوث في الشتاء في العديد من البيوت المحمية. وقد تسبب إضافة ماء بارد للتربة أيضاً جهداً مماثلاً للجهد الناشئ عن قلة الماء والذي مؤداه تعفن الطماطم^(١١٣).

ويمكن في التطبيقات البحثية التحكم في درجة حرارة الجذور باستخدام نظام زراعة في ماء أذيت فيه بعض المواد المغذية. ويمكن - عند الرغبة في الحصول على درجة حرارة للجذر في حدود ٥°م من درجة حرارة الهواء - وضع الوعاء في حمام مائي يمكن التحكم في درجة حرارته^(١١٤). ويمكن بالنسبة للمناطق الأرضية أو مخلوط التربة في مساكب استخدام الكابلات الحرارية. ولا توجد طرق عملية يمكن استخدامها للتحكم في درجة حرارة المادة في أوعية نمو النباتات باستثناء تنظيم درجة حرارة الماء والمحاليل الغذائية.

ومع أن من النادر قياس درجات حرارة المادة المحيطة بالجذر، إلا أنه من المعروف أن درجة الحرارة لها تأثير واضح على إنبات البذور وما يتبعه من نمو. وتوجد درجة حرارة مثلى للإنبات لكل صنف من النباتات. وتتأثر درجة الحرارة



شكل (١٧، ١٠). تأثير إضافة ماء عند درجة حرارة نهار وليل ٢٤ و ١٨ م على الترتيب.

المثلث بعمر البذرة وظروف التخزين ويحتمل أيضاً بيئة النبات الأم وقت نفوسج البذور^(١١٥). ويتطلب العديد من أنواع البذور فترة إنبات أولى عند درجة حرارة أقل من المثلث لكسر فترة السبات أو للإسراع بعملية التضيغ. وقد تتطلب بعض الأصناف حوالي ٣٠ يوم عند درجة حرارة ٤ م قبل بدء الإنبات عند درجة الحرارة المثلث. وتغير متطلبات درجات الحرارة المنخفضة تغيراً جلياً بين الأصناف.

ويوجد العديد من البذور التي لها مدى من درجات الحرارة الحرجة للإنبات، وقد تفشل عملية الإنبات عند درجة حرارة خارج هذا المدى. فعلى سبيل المثال، نجد أن لدى بذور (*Puya berteroniana*) نسب إنبات منخفضة للغاية عند درجة حرارة أعلى

من ٢٠°م، بينما تكون لدى بذور (*Aechmea coelestis*) نسبة إنبات منخفضة عند درجة حرارة أقل من ٢٠°م، ولكن لديها نسبة إنبات جيدة عند درجات حرارة مرتفعة في حدود ٣٠°م. وتفشل بذور (*Vriesia scalaris*) في الإنبات عند درجات حرارة أقل من ٢٠°م أو أعلى من ٢٥°م^(١١٦).

وتوجد لدى بعض أنواع البذور نسب إنبات أفضل عند استخدام درجة حرارة متناوبة بدلاً من استخدام درجة حرارة ثابتة^(١١٧، ١١٥)، وهي حقيقة معلومة منذ عام ١٨٨٤م، ولكن لا يوجد لها تفسير مقنع. وعادةً ما يحدث التناوب باستخدام دورة يومية تبدأ من ثماني ساعات عند درجة حرارة مرتفعة ثم ١٦ ساعة عند درجة حرارة منخفضة. وتعتبر الدورة ١٦/٨ ساعة مريحة في نقل البذور من درجة حرارة إلى أخرى، ولكن تعتمد فترة الدورة في الحقيقة على تغيرات نهار/ليل بالنسبة لدرجات حرارة سطح التربة في منطقة التلطيف. ويوجد لدى درجات الحرارة المتناوبة كفاءة مرتفعة للغاية في تعزيز عملية الإنبات^(١١٨). ويعتبر نظام التناوب عند ٢٠°م / ٣٠°م قريباً من النظام الأمثل لأصناف البذور من ذات مناطق تلطيف متعددة^(١١٩). ومع أن بعض البذور تتطلب دورات من درجات الحرارة لتشجيع الإنبات، إلا أنه توجد بعض البذور الأخرى التي تحتاج فقط إلى دورتين يتبعهما درجات حرارة مرتفعة باستمرار أثناء فترة الإنبات.

وقد تختلف متطلبات درجات الحرارة في عملية نمو البذور عن عملية الإنبات. ففي بعض الحالات، مثل (*Paonia suffructosa*)، نجد أن الفوفلقي (أو الجزء من محور جنين النبات الواقع فوق الفلقة) يظل ساكناً ويتطلب فترة باردة قبل بدء النمو. أيضاً تنبت بلوطات بعض أصناف خشب البلوط وينمو الجذر الرئيسي الوتدي في الخريف، ولكن لا يتم النمو الكلي للنبات حتى قدوم الربيع. ونجد أيضاً ظهور تنوءات جذور (*Convallaria majolis*) عند درجة حرارة دافئة ٢٥°م، ولكن نجد أن التعرض لدرجة حرارة منخفضة متبوعة بدرجة حرارة نمو مثلى يعزز من نمو قمة الجذر.

وتتعامل معظم التقارير الخاصة بتأثيرات درجة الحرارة على نمو النبات مع درجة حرارة الهواء ونمو الجذر الهوائي من النبات، ولكن يعتبر ما يقال عن تأثيرات

درجة حرارة الجذر قليلاً. ومع ذلك نجد أن لدى درجات حرارة الجذور تأثيراً عميقاً على نمو البراعم أو الأفرع الجديدة. وتبدو درجة حرارة للجذر من ٣٠ إلى ٣٥ م° مثلى لبداية التوريق في أوراق التبغ ولتراكم المادة الحيوية في الذرة^(١٢٠). وقد يكون لدى درجة حرارة الجذر المنخفضة تأثير أكبر على نقل المركب الضوئي من الأوراق عن درجة حرارة الهواء. وفي الحقيقة نجد أن جزءاً كبيراً من المركب الضوئي ينتجه صوب الجذر بدلاً من المساعدة على انبثاق تفرعات جديدة طالما أن درجة حرارة المادة المحيطة بالجذر أقل أو أعلى من درجة حرارة الجذر المثلى.

وتعتمد النتائج والبيانات الخاصة بدرجات الحرارة المثلى للجذور أيضاً على طرق القياس وعمر النبات والماء المتاحة والغذاء مثلها مثل بيانات درجة الحرارة المثلى للهواء. فتكون درجة الحرارة المثلى لجذر البونسيطة (نبات مكسيكي) ٢٦ م°، وهي قريبة من درجة الحرارة المثلى للعديد من نباتات المناطق الاستوائية والمعتدلة المتضمنة بعض أصناف الأشجار^(١٢١). وتعتبر ١٣ م° أقل درجة حرارة لنمو جذر البونسيطة، بينما كانت أقصى درجة حرارة ٢٦ م°. ويبدأ معدل نمو الجذر في الانخفاض عند ٣٠ م°. وقد وجدت نتائج مماثلة مع الخيار، مع ملاحظة أن أقل درجة حرارة لنمو الجذر كانت ١٦ م°. وعادةً ما تكون درجة حرارة المادة المحيطة بالجذر والمولدة لأعظم نمو جذري أقل من درجة حرارة الجذر الذي ينتج معظم النمو الفوقي. وبالطبع يوجد العديد من الاستثناءات بالنسبة لدرجة حرارة الجذور المثلى. فعلى سبيل المثال، نجد أن أفضل درجة حرارة مدونة لنمو جذور التفاح والكمثرى تقع عند ١٨ م°، بينما تطعيم الطنجال (وهو شجر أو ثمر مهجن من المندرين أو اليوسفي ومن الليمون الهندي أو الجريب فروت) إلى ساق جذر البرتقال الحامض ينتج أعظم وزن للجذر عند درجة حرارة ٣٣ م°^(١٢٢).

وكقاعدة عامة، نجد أنه كلما كبر الوعاء، كلما كبر النبات. وقد نشر في بحث أن زيادة حجم الوعاء أربعة أضعاف يزيد وزن ظلة نبات (*Ficus retusa and Dodonaea Viscosa*) أربعة أضعاف^(١٢٣). ويجب أن يكون شكل الوعاء متمشياً مع نوع النظام الجذري. فعلى سبيل المثال، نجد أن نبات (*Dodonaea*) ينمو بمعدل أفضل في وعاء ضيق عميق عن ما يكون الوعاء واسعاً

وغير عميق أو منتظم الشكل عرضه يساوي عمقه . أما بالنسبة لنبات (*Ficus*) الذي لديه نظام جذري مختلف ، فنجد أن معدل نموه يكون أفضل في الأوعية المنتظمة أو القليلة العمق عن النمو في الأوعية العميقة^(١٢٦) .

مصادر الماء والغذاء (Water and Nutrient Supply)

يعتبر الماء المصدر الرئيسي للنباتات الخضراء حيث يمثل من ٧٠ إلى ٩٠٪ من الوزن الناضر لمعظم الأصناف العشبية . ويوجد معظم هذا الماء في محتويات الخلايا (٨٥ إلى ٩٠٪ ماء) حيث يلعب دوراً حيوياً كوسط سائل بالنسبة للعديد من تفاعلات الكيمياء الحيوية .

ونظراً للتأثيرات العميقة لإجهاد الماء على النمو الخضري وتطورات الإنبات ، فإن مجهوداً يؤخذ في الاعتبار قد بذل لفهم ميكانيكية المقاومة وتجنب الجفاف^(١٢٧) إلى^(١٣٠) وانحباس الماء^(١٣١) . واثماً ما يغفل أهمية الإجهاد المائي كعامل محدد في مستنبات البيت المحمي ؛ نظراً لإمكانية حدوث كل من الجفاف وعدم وصول الماء بدون ظهور أي علامات مرئية من الذبول .

وتعتمد كمية المياه الواجب إضافتها إلى وعاء نمو النبات على حجم النبات وحجم الوعاء ومسامية وسعة إبقاء المادة المحيطة بالجذر للماء . وهكذا ، فإن التربة التي تحتوي على كمية كبيرة من الطين يمكن أن تكون مبللة أكثر من اللازم عند إعطائها نفس الكمية من الماء التي تعتبر المثلى بالنسبة لمادة خفيفة تتكون من أنسجة نباتية متفتحة وزلط . وبالمثل ، نجد تحت ظروف بيئية مماثلة ، أن كمية الماء المثلى لمخلوط الأنسجة النباتية الخفيفة قد يكون غير كاف لمواد أخرى مثل الرمل . ويجب - لتجنب خطورة انحباس الماء - التأكد من أن المادة ذات صرف جيد . وعادةً ما يتم ري أوعية نمو النباتات بالزيادة حتى تكون المادة عند أقصى إبقاء للماء بعد كل رية . ويكون ذلك مريحاً ؛ نظراً لأن نباتات البيوت المحمية تنمو عند مستويات مرتفعة نسبياً من الغذاء ، كما تساعد عملية غسيل الوعاء عند كل رية على منع تراكم الأملاح .

وتزداد كمية الماء المتسربة من المادة المحيطة بالجذر مع نمو النبات. وسوف تساعد عملية إضافة ماء أكثر عند كل تطبيق فقط على تعويض جزئي للفقد المتزايد من الرعاء؛ نظراً لأن المادة المحيطة بالجذر تكون أصلاً كاملة الببل. وعلى ذلك، تكون الطريقة الرئيسية لإضافة الماء عن طريق زيادة عدد مرات الإضافة؛ ولكن لا بد من معرفة عدد مرات الإضافة المثلى لكل حالة على حدة. وبينما تتحكم المادة المحيطة بالجذر في كمية الماء الممكن فقده قبل ظهور الإجهاد المائي، فإن معدل الفقد المائي يعتمد على نوع النبات ونوع وحجم الرعاء ومساحة سطح التربة المتعرض للجو ومساحة الورقة والظروف البيئية من درجة حرارة ورطوبة نسبية وكثافة الحزمة الإشعاعية.

ويصل معدل نمو خلايا النبات وكفاءة عملياته الفسيولوجية المعقدة إلى أقصى مدى له عندما تصل الخلايا إلى أقصى انتفاخ لها. ونجد، بالنسبة للنبات المعرض للبناء الضوئي، أن امتصاص ثاني أكسيد الكربون من خلال جدران الخلية الرطبة والمعرضة للجو مرتبط بفقد الماء من أنسجة الورقة. ويؤدي ذلك إلى انخفاض كل من انتفاخ الخلية وكمية الماء الكامن الداخلية. وتعرض خلايا النبات إلى إجهاد مائي عند فقد الماء وانخفاض ضغط انتفاخ الخلية إلى أقل قيمة له^(١٢).

وتعتبر عملية نمو كل من الخلية والورقة حساسة خاصة للإجهاد المائي؛ نظراً لأن تمدد الخلية يحدث نتيجة لضغط الانتفاخ على جدران الخلية "اللينة". وقد تتوقف عملية النمو حتى قبل بدء ظهور علامات الذبول، فزيادة الإجهاد المائي من خفيف إلى متوسط، يزيد من تأثير العديد من عمليات الكيمياء الحيوية. فتتأثر بروتينات وكلورفيل البناء الضوئي تحت الإجهاد الخفيف؛ ويتأثر - تحت الإجهاد المتوسط - كل من مستوى خمائر الانقسام النيتروجينية ونمو هرمون الأيضا (خاصة حمض الأبسيسيك والإيثلين) وامتصاص ثاني أكسيد الكربون؛ بينما يحدث - تحت الإجهاد المائي العنيف - تمزق لخلايا البروتوبلازم، وذلك كما هو موضح بزيادة التنفس وتراكم الأحماض الأمينية والسكريات^(١٣).

ومع أن الإجهاد المائي عادة ما يكون مرتبطاً بالذبول، إلا أن هذه الظاهرة تكون حالة متطرفة من الإجهاد الذي يمكن أن يحدث حتى في حالة وجود ماء كافٍ؛ نظراً

لتأخر عملية التتح عن عملية امتصاص الماء . وغالباً ما يُرى هذا التأخر مع النباتات ذات الأوراق العريضة مثل (*Micotiana*) عندما يتبع يوم مشمس مضيء عدة أيام معتمة . وقد تسبب عملية رش النباتات بماء بارد أيضاً ذبولاً للأوراق نتيجة لصعوبة امتصاص الماء . وكما تم توضيحه سابقاً ، فإن الإجهاد المائي الكافي الذي يؤثر عكسياً على نمو النبات وتطوره يمكن أن يحدث بدون رؤية علامات الذبول . إن المشكلة مع رش النباتات التي تنمو في أوعية في البيت المحمي إلى أقصى سعة احتفاظ بالماء مرتين إلى ثلاثة مرات يومياً تكمن في تناقص الماء المتاح للنبات بمعدل أكبر بين كل رشتين عما لو كان النبات في الحقل أو في مساكب كبيرة . وقد تؤدي هذه الدورة السريعة من الرش والجفاف إلى إجهاد مائي أولي بدون ظهور علامات لذبول النبات أو ظهور أي علامات أخرى تدل على الإجهاد حتى يحدث التلف . فعلى سبيل المثال ، قد يظهر على الطماطم التي تنمو في أوعية تحت درجة حرارة ملائمة وشدة إضاءة مرتفعة تلف للجذور وظهور علامات على الأوراق تدل على اختلال نسبة الكالسيوم ، وذلك عند الرش اليومي عادةً مرتين أو ثلاث مرات في اليوم . ولكن لا تظهر تلك العلامات عند الرش المستمر باستخدام الري بالتنقيط أثناء فترة الإضاءة اليومية . ولا تظهر على الذرة - تحت نفس الظروف - أي صعوبات واضحة ، ولكن سوف ينخفض النمو جذرياً عند رش الماء يدوياً ، وذلك بالمقارنة باستخدام نظام ري بالتنقيط آلي .

وقد تم وصف العناصر المعدنية الخاصة بنمو النبات وتأثيرات نقص تلك العناصر أو سُميتها بشيء من التفصيل في مراجع أخرى ، وعلى هذا فسوف تتم التغطية هنا باختصار^(١٢٢) . فالعناصر الأساسية الخاصة بنمو النبات هي النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنسيوم والكبريت . و العناصر الصغرى هي الحديد والمنجنيز والبورون والزنك والموليبدنوم والكوبلت والكلورين والبوديوم . ولا يعتبر وجود هذه العناصر مهماً فقط لنمو النبات ، بل لابد من وجود توازن بين هذه العناصر وبعضها البعض . وعلى ذلك فإضافة عنصر واحد فقط مثل النيتروجين أو زيادة الكمية منه سوف يفسد ويقلب الاتزان بين النيتروجين والبوتاسيوم ، وقد ينتج عن ذلك تدمير شامل للأوراق . والأكثر من ذلك ، لابد وأن

يكون مستوى الحموضة (pH) للتربة مضبوطاً حتى عندما يمتص النبات كل ما يحتاجه من عناصر غذائية بائران. وعادة ما تعتبر مستويات الحموضة بين ٦ و ٧ كافية لنمو معظم محاصيل البقول المحمية باستثناء بعض الأصناف مثل الأزيات والكروية، فقد تنمو تلك الأصناف بمعدل أفضل عند مستويات حموضة ٥ أو ٥,٥. ويبدو أن هذه النباتات الأخيرة ليس لها القدرة على امتصاص ونقل الحديد بكفاءة عند مستويات مرتفعة من الحموضة. ويصبح الألومنيوم والمنجنيز أكثر ذوباناً عند مستويات حموضة أقل بكثير من ٥. وقد يحدث امتصاص للمنجنيز الزائد بواسطة النبات حتى يصل إلى مستويات سمية، وقد يتداخل الألومنيوم مع كل من الكالسيوم والفوسفات الممتص.

وفي الحقيقة، إن وجود كل العناصر الضرورية في التربة لا يضمن قيام النبات بامتصاص ونقل كل تلك العناصر. وكما تمّت ملاحظته، فإن مستوى الحموضة يمكن أن يغيّر من معدل امتصاص الحديد. وسوف تظهر أعراض نقص الكالسيوم على الطماطم نتيجة لدورة الرش والجفاف للمادة المحيطة بالجذر، أو نتيجة لاستخدام ماء بارد في الرش. وسوف يظهر شحوب يخضوري أو اصفرار غير سوي من جراء نقص الحديد على الطماطم والقشمو (عُشب أمريكي استوائي جميل الزهر من الفصيلة المركبة)، وذلك إذا أثقلت التربة بالماء^(١٣). وقد لا يمتص القرنيط أو على الأقل لا ينقل الكالسيوم إذا كانت الرطوبة النسبية مرتفعة باستمرار^(١٣).

وسوف يصبح العديد من النباتات - عند خفض درجة الحرارة - ذا شحوب يخضوري بصرف النظر عن مستوى الغذاء المستخدم. فعلى سبيل المثال، قد نشر في بحث عدم حدوث امتصاص للترتات تقريباً عند درجات حرارة أقل من ١٣°م^(٢٤). وسوف تزداد مقاومة النبات لمستويات سمية المنجنيز مع ارتفاع درجة الحرارة^(١٣٥). وقد تحترق حواف أوراق البطاطس التي تنمو عند درجات حرارة يومية مرتفعة مع تجمع للصوديوم أو ارتفاع سمية الأملاح^(١٦). وتسبب درجة حرارة مرتفعة ٣٥°م، بالنسبة للذرة^(١١) والدخان^(١٢)، أعراض نقص الكالسيوم في التربة المحتوية على كمية كافية من الكالسيوم. ويجب عمل اللازم نحو قياس المحتوى الملحي

المذاب، كما يجب أيضاً عمل تحاليل للأنسجة لمعرفة تركيب المعادن ولتجنب النقص المتوقع أو التأثيرات السمية.

التعقيم للتحكم في الأوبئة

(PASTEURIZING FOR PEST CONTROL)

تعتبر عملية التحكم في الأوبئة التي تصيب الوسط الجندي إحدى مهام نظام إدارة كل بيت محمي. وتوجد العديد من الطرق المتاحة والمتضمنة لاستخدام الكيمياويات والحرارة والإشعاع.

ويعتبر بروميد الميثيل والكلورويكربن (مسيل للدموع) من أكثر المواد الكيميائية الشائعة الاستخدام. وتقضي هذه المواد على معظم فطريات التربة والحشرات وبذور الأعشاب الضارة والديدان السليكية (النيماطودا)^(١٣٧). ويجب توخي الحذر عند استعمال تلك المواد حيث إنها سمية للإنسان أيضاً. وتوجد مركبات كيميائية أخرى تم تطويرها بالنسبة لأنواع محددة من الأوبئة، مثل المبيدات الفطرية والدودية. ويجب على مستخدمي تلك المبيدات مراجعة قوانين الولاية والحكومة الخاصة باستخدام الكيمياويات في مواقع إنتاج النباتات.

وتموت كل أنواع البكتريا المسببة لأمراض النبات وحشرات التربة وفيرومات النبات وبذور الأعشاب إذا تعرضت للدرجة حرارة ٤١,٥ °م ولمدة ٣٠ دقيقة^(١٣٧). وتقتل كل الفيرومات المقاومة للنباتات والبذور العشبية عند درجة حرارة ١٠٠ °م. وقد وجد أيضاً أن معاملة التربة مع ٧,٥ °م أشعة جامدة قد أدت إلى تدمير أقل لأنشطة الكيمياء الحيوية عن استخدام الحرارة الجافة. وذكر أن استخدام تركيبة من الإشعاع الأيوني والحرارة الجافة تعطي نتائج طيبة، ولكن تتطلب - لإمجاز التعقيم - خفضاً جليدياً للجرعة الإشعاعية^(١٣٩).

ويتم تزويد الحرارة الجافة لتعقيم الوسط إما بواسطة هواء ساخن يتصل مباشرة مع جسيمات مادة الوسط، أو بتسخين وعاء مادة الوسط. ويتم انتقال الحرارة في أي من الطريقتين باستخدام التوصيل والحمل لنقل الحرارة إلى سطح

الجسيمات وإلى داخل الجسيم نفسه . ونظراً لانخفاض معامل التوصيل الحراري لمركبات مادة الوسط ، فإنه يصعب التسخين إلى درجة الحرارة المرغوبة باستخدام حرارة جافة .

وقد وجد - عند إنتاج الطماطم - أن الفشل في استخدام تربة معقمة بخارياً للتحكم في العفن الجذري ناتج عن إعادة تلوث التربة المعقمة بالجراثيم المنقولة هوائياً^(١٤٠) .

وتستخدم عملية التعقيم بالبخار منذ فترة طويلة للمراقد الأرضية والمراقد المرتفعة والأوعية . والطريقة الشائعة الاستخدام عن طريق توفير بخار مشبع بواسطة بعض الوسائل الميكانيكية مع الاستمرار في تزويد البخار حتى تصل أبرد منطقة إلى درجة حرارة ٨٣° م . ويتم منع صريان البخار بعد ذلك وترك مادة الوسط تبرد طبيعياً باستخدام التوصيل والحمل . وجدير بالذكر أن زيادة درجات حرارة المعاملة سوف تزيد من تراكيز منجنيز التربة المتبادل والمذاب من أربعة أجزاء في المليون في التربة غير المسخنة إلى ٩ و ٤٣ و ٨٧ و ١٠٨ أجزاء في المليون عند درجات حرارة ٦٦ و ٧٧ و ٨٨ و ١٠٠° م على الترتيب^(١٤١) . وقد نشر في نفس البحث أن إنتاج الخیار قد زاد بنسبة ٨٪ في التربة المسخنة إلى ٨٨° م عن التربة المسخنة إلى ١٠٠° م .

وقد تم تأكيد استخدام هواء مشبع (بخار مهوي) عند درجة حرارة مرتفعة بدلاً من بخار مشبع ، وذلك لتجنب المشاكل الناجمة عن إعادة غزو الأمراض والتغيرات في كيمياء التربة والتي تؤدي إلى تلف نباتي^(١٤٢) . وقد نشر في بحث أن ٣٠ دقيقة تكون مطلوبة لقتل خمس فطريات عند التعرض إلى بخار مهوي عند درجة حرارة ٤ ، ٥٤ ، ٥٨° م ، بينما كان المطلوب ١٥ دقيقة عند استخدام بخار مهوي عند ٧١ ، ٧٦° م^(١٤٣) . ويعتبر تسخين التربة عند درجة حرارة لا تقل عن ١ ، ٧١° م في فترة لا تزيد على ٣٠ دقيقة هي التوصية القياسية في التطبيقات العملية التجارية التي تم تطويرها بواسطة الأخصائيين في علم الأمراض والبستنة .

وقد تم تطوير معلومات عن الخواص الطبيعية والحرارية للأراضي المختارة ومخلوطاتها المستخدمة في صناعة البيوت المحمية^(١٤٤) . وقد وجد الباحثون أنه تم تسخين الوسط بواسطة توليفة من وسائل نقل الحرارة بالحمل والتكثيف

والتوصيل ، وأن حوالي ٩٢٪ من الحرارة الكلية قد نتج عن تكثيف بخار الماء . وقد ارتبط التسخين للوسط عامةً بكل من الكثافة الظاهرية والمحتوى الرطوبي والحرارة النوعية ومعدل سريان البخار . وقد وجد أن أداء عملية التسخين تكون أكثر سهولةً عندما يكون المحتوى الرطوبي للوسط هو الأفضل لنمو النبات .

المراجع

1. Downs, R. J. 1975. Controlled environments for plant research. Columbia University Press, NY.
2. Downs, R. J. and H. Hellmers. 1975. Environment and the experimental control of plant growth. Academic Press, NY.
3. Krizek, D. T., W. A. Bailey and H. H. Kluster. 1970. A "head start" program for bedding plants through controlled environments. Proc. Third National Bedding Plant Conference, October 5-7. pp. 43-53.
4. Raschke, K. 1960. Heat transfer between the plant and the environment. Ann. Rev. Plant Physiol. 11:111-126.
5. Gates, D. M. 1980. Biophysical ecology. Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin.
6. Precht, H., J. Christopherson, H. Hensel and W. Larcher. 1973. Temperature and life. Springer-Verlag, NY.
7. Tanner, C. B. and S. M. Goltz. 1972. Excessively high temperatures of seed onion umbels. J. Am. Soc. Hort. Sci. 97(1):5-9.
8. Gates, D. M. 1968. Transpiration and leaf temperatures. Ann. Rev. Plant Physiol. 19:211-238.
9. Jaffe, M. J. 1976. Thigmomorphogenesis: A detailed characterization of the response of beans to mechanical stimulation. Z. Pflanzenphysiol. 77:435-437.
10. Salisbury, F. B. 1979. Temperature. In: Controlled environment guidelines for plant research, T. W. Tibbitts and T. T. Kozlowski, eds. pp. 75-116. Academic Press, NY.
11. Tanner, C. B. 1979. Temperature: Critique I. In: Controlled environment guidelines for plant research, pp. 117-130, T. W. Tibbitts and T. T. Kozlowski, eds., Academic Press, NY.
12. Flitter, A. J. and R. K. M. Hay. 1981. Environmental physiology of plants, Academic Press, NY.
13. Went, F. W. 1957. The experimental control of plant growth. Chronica Botanica.
14. Went, F. W. 1961. Thermoperiodicity. Handbuch der Pflanzenphysiologie 16:11-22.
15. Mastalerz, J. 1977. The greenhouse environment. John Wiley & Sons, NY.
16. Sutcliffe, J. 1977. Plants and temperature. Arnold, London.
17. Winkler, E. 1971. Kartoffelbau in Tirol. II. Photosyntheseevermögen und respiration von verschiedenen kartoffelsorten. Potato Res. 14:1-18.
18. Larcher, W. 1975. Physiological plant ecology. Springer-Verlag, New York.
19. Alexandrov, V. Y. 1964. Cytophysical and cytoecological investigations of heat resistance of plant cells towards the action of high and low temperature. Q. Rev. Bio. 39:35-77.
20. Alexandrov, V. Y. 1977. Cells, molecules, and temperature. Conformational flexibility of macromolecules and ecological adaptation. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
21. Ormrod, D. P. 1978. Temperature. In: A growth chamber manual: Environmental control for plants, R. W. Langhans, ed., Cornell University Press, Ithaca, NY. pp. 45-56.
22. Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stress. Vol. I. Chilling, freezing, and high temperature stresses. Academic Press, New York.
23. Turner, N. C. and P. J. Kramer. 1980. Adaptation of plants to water and high temperature stress. John Wiley and Sons, New York.
24. Altman, P. L. and D. Dittmer. 1966. Experimental biology. Biological Handbook, Fed. Am. Soc. Exptl. Biol.
25. Hellmers, H., M. K. Genthe and F. Ronco. 1970. Temperature affects growth and development of Engelmann Spruce. Forest Sci. 16:447-452.
26. Mauney, J. R. 1966. Floral initiation of upland cotton, *Gossypium hirsutum* L. in response to temperature. J. Exptl. Bot. 17:452-459.
27. Moore, E. L. 1975. Requirement for optimum greenhouse tomato growth and product quality for Tennessee Valley cultivars. Tennessee Valley Greenhouse Vegetable Workshop Bull. Y-94, pp. 78-90, Natl. Pert. Dev. Center, TVA, Muscle Shoals, AL.
28. Downs, R. J. 1980. Phytotrons. The Botanical Review, Nov.-Dec., 46(4):447-489.
29. Raper, C. D. and R. J. Downs. 1976. Field phenotype in phytotron culture: A case history. The Botanical Review 42:317-343.

30. Evans, L. T. 1969. The nature of flower induction. In: The induction of flowering. L. T. Evans, ed., Cornell Univ. Press, NY, pp. 457-475.
31. Vince-Prue, D. 1975. Photoperiodism in plants. McGraw-Hill, NY.
32. Downs, R. J. and J. M. Bevington. 1981. Effect of temperature and photoperiod on growth and dormancy of *Betula papyrifera*. Am. J. Bot. 68(6):795-800.
33. Krizek, D. T., H. H. Kluester, and W. A. Bailey. 1972. Effects of day and night temperature and type of container on the growth of F₁ Hybrid annuals in controlled environments. Am. J. Bot. 59(3):284-289.
34. Matsui, T. and H. Eguchi. 1972. Effects of environmental factors on leaf temperature in a temperature-controlled room. II. Effects of air movement. Environ. Control in Biol. 10:105-108.
35. Krizek, D. T. 1969. Enriched environments for starting seedlings. Proc. 24th Ann. Amer. Hort. Cong. Am. Soc. Hort. Sci. pp. 12-16.
36. Langenberg, W. J., J. C. Sitton and T. J. Gillespie. 1977. Relation of weather variables and periodicities of airborne spores of *Alternaria dauri*. Phytopathology 67(7):879-883.
37. Kluester, H. H., W. A. Bailey and D. T. Krizek. 1970. Controlling environments from the engineering side. Proc. Third National Bedding Plant Conference, Oct. 5-7. pp. 28-32.
38. Krizek, D. T., W. A. Bailey and H. H. Kluester. 1971. Effects of relative humidity and type of container on the growth of F₁ hybrid annuals in controlled environments. Am. J. Bot. 58:544-551.
39. Krizek, D. T. and J. E. Ambler. 1979. Influence of relative humidity and type of container on the uptake of Ca, Fe, P and Zn by cotton plants under greenhouse and growth chamber conditions. Proc. 1979 Beltwide Cotton Production Conf. p. 53.
40. Lipton, W. J. 1970. Effects of high humidity and solar radiation on temperature and color of tomato fruits. J. Am. Soc. Hort. Sci. 95(6):680-684.
41. Baird, L. S., Morrison and B. D. Webster. 1978. Relative humidity as a factor in the structure and histochemistry of plants. Hort. Science 13(5):556-558.
42. Rawson, H. M., J. C. Begg and R. G. Woodward. 1977. The effect of atmospheric humidity on photosynthesis, transpiration and water use efficiency of leaves of several plant species. Plants. 134(1):5-10.
43. American Society for Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. 1981. Fundamentals Handbook Chapter 9, Environmental control of animals and plants, ASHRAE, pp. 9.10-9.18.
44. Downs, R. J. and H. A. Borthwick. 1956. Effects of photoperiod on growth of trees. Bot. Gaz. 117:310-326.
45. Downs, R. J., H. A. Borthwick, and A. A. Piringer, Jr. 1958. Comparison of Incandescent and fluorescent lamps for lengthening photoperiods. Proc. Am. Hort. Sci. 71:568-578.
46. Deutch, B. and B. I. Deutch. 1978. Spectral dependence of a single and a subsequent second light pulse inducing barley leaf unfolding. Photoghem. & Photobiol. 27:141-146.
47. Downs, R. J. and A. A. Piringer, Jr. 1958. Effects of photoperiod and kind of supplemental light on vegetative growth of pines. For. Sci. 4(3):185-195.
48. Whalley, D. N. and K. E. Cockshull. 1976. The photoperiodic control of rooting, growth and dormancy in *Cornus alba* L. Sci. Hort. 5:127-138.
49. Jose, A. M. and D. Vince-Prue. 1978. Phytochrome action: A reappraisal. Photochem. & Photobiol. 27:209-216.
50. Nitsch, J. P. 1957a. Growth responses of woody plants to photoperiodic stimuli. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 70:512-525.
51. Nitsch, J. P. 1957b. Photoperiodism in woody plants. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 70:526-544.
52. Perry, T. O. 1971. Dormancy of trees in winter. Science 171(3966):29-36.
53. Withrow, A. P. 1958. Artificial lighting for forcing greenhouse crops. Purdue Univ. Agr. Expt. Sta. Bul. 533.
54. Withrow, R. B. and M. H. Richman. 1933. Artificial radiation as a means of forcing greenhouse crops. Purdue Univ. Agr. Expt. Sta. Bul. 380.
55. Withrow, A. P. and R. B. Withrow. 1947. Comparison of various lamp sources for increasing growth of greenhouse crops. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 49:363-366.
56. Cathey, H. M. and L. E. Campbell. 1975. Effectiveness of five vision-lighting sources on photo-regulation of 22 species of ornamental plants. J. Am. Soc. Hort. Sci. 100(1):65-71.

57. Cathey, H. M., G. G. Smith, L. E. Campbell, J. G. Hartsock and J. U. McGuire. 1975. Response of *Acer rubrum* L. to supplemental lighting reflective aluminum soil mulch, and systemic soil insecticide. J. Am. Soc. Hort. Sci. 100:234-237.
58. Boodley, J. W. 1970. Artificial light sources for Gloxinia, African Violet, and Tuberous Begonia. Plants & Gardens 26:38-42.
59. Dunn, S. 1975. Lighting for plant growth or maintenance. Flor. Rev. 156(4054):41, 86-90.
60. Biran, I. and A. M. Kofranek. 1976. Evaluation of fluorescent lamps as an energy source for plant growth. J. Am. Soc. Hort. Sci. 101(6):625-628.
61. Stoutemyer, V. T. and A. W. Close. 1946. Rooting cuttings and germinating seeds under fluorescent and cold cathode lighting. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 48:309-315.
62. Cathey, H. M., L. E. Campbell, and R. W. Thimijan. 1978. Comparative development of 11 plants grown under various fluorescent lamps different duration of irradiation with and without additional incandescent lighting. J. Am. Soc. Hort. Sci. 103:781-791.
63. Fonteno, W. C. and E. L. McWilliams. 1978. Light compensation points and acclimatization of four tropical foliage plants. J. Am. Soc. Hort. Sci. 103:52-56.
64. Klueter, H. H. and D. T. Krizek. 1972. How to use controlled lighting to propagate and grow plants. pp. 205-209. In: Landscape for living. USDA Yearbook. 1972, (J. Hayes, ed.) U.S. Dept. Agr., Washington, D.C.
65. Bickford, E. D. and S. Dunn. 1972. Lighting for plant growth. The Kent State University Press.
66. Krizek, D. T., W. A. Bailey, H. H. Klueter, and H. M. Cathey. 1968. Controlled environments for seedling production. Proc. Intern. Plant Prop. Soc. 18:273-280.
67. Cathey, H. M. and L. E. Campbell. 1979. Relative efficiency of high and low-pressure sodium and incandescent filament lamps used to supplement natural winter light in greenhouses. J. Am. Soc. Hort. Sci. 104:812-825.
68. Duke, W. B. et al. 1975. Metal halide lamps for supplemental lighting in greenhouses. Crop response and spectral distribution. Agron. J. 67:49-63.
69. Carpenter, W. J. 1976. Photosynthetic supplementary lighting of spray pompon, *Chrysanthemum morifolium*. Ramat. J. Am. Soc. Hort. Sci. 101:155-158.
70. Carpenter, W. J. and G. R. Beck. 1973. High intensity of supplementary lighting of bedding plants after transplanting. HortSci. 8(6):482-483.
71. White, J. W. 1974. Supplementary lighting for rose production. ASAE Paper No. 74-4043, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
72. Carpenter, W. J. and G. A. Anderson. 1972. High intensity supplementary lighting increases yields of greenhouse roses. J. Am. Soc. Hort. Sci. 97:331-334.
73. Austin, R. B. and J. A. Edrich. 1974. A comparison of six sources of supplementary light for growing cereals in glasshouses during winter time. J. Agr. Eng. Res. 19:339-345.
74. Downs, R. J., W. T. Smith, and G. M. Jividen. 1973. Effect of light quality during the high-intensity period of growth of plants. ASAE Paper No. 73-4525, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
75. Anderson, G. A. and W. J. Carpenter. 1974. High intensity supplementary lighting of chrysanthemum stock plants. HortSci. 9:58-60.
76. Krizek, D. T. and R. H. Zimmerman. 1973. Comparative growth of birch seedlings grown in the greenhouse and growth chamber. J. Am. Soc. Hort. Sci. 98(4):370-373.
77. Zimmerman, R. H., D. T. Krizek, W. A. Bailey, and H. H. Klueter. 1970. Growth of crabapple seedlings in controlled environments. Influence of seedling age and CO₂ content of the atmosphere. J. Am. Soc. Hort. Sci. 95(3):323-325.
78. Krizek, D. T. 1972. Accelerated growth of birch in controlled environments. Proc. Intern. Plant Prop. Soc. 22:390-395.
79. Krizek, D. T. 1982. Guidelines for measuring and reporting environmental conditions in controlled environment studies. Physiol. Plant 56: 231-235.
80. Frank, A. B. and R. E. Barker. 1976. Rates of photosynthesis and transpiration and diffusive resistance of six grasses grown under controlled conditions. Agron. J. 68:487-490.
81. Wilson, D. R., C. J. Fernandez, and K. J. McCree. 1978. CO₂ exchange of subterranean clover in variable light environments. Crop Sci. 18:19-22.
82. Patterson, D. T., M. M. Peet and J. A. Bunce. 1977. Effect of photoperiod and size of flowering on vegetative growth and seed yield of soybean. Agron. J. 69:631-635.
83. Tibbitts, T. W., J. C. McFarlane, D. T. Krizek, W. L. Berry, P. A. Hammer, R. W. Langhans, R. A. Larson, and D. P. Ormrod. 1976. Radiation environment of growth chambers.

J. Am. Soc. Hort. Sci. 101:164-170.

84. Buck, J. A. 1973. High intensity discharge lamps for plant growth application. TRANSACTIONS of the ASAE 16(1):121-123.

85. Raper, C. D., Jr. and J. F. Thomas. 1978. Photoperiodic alteration of dry matter partitioning and seed yield in soybeans. Crop Sci. 18:654-656.

86. Downs, R. J. and V. P. Bonaminio. 1976. Phytotron procedural manual for controlled-environment research at the Southeastern Plant Environment Laboratory. North Carolina Agr. Expt. Sta. Tech. Bul. 244.

87. Tibbitts, T. W., J. C. McFarlane, D. T. Krizek, W. L. Berry, P. A. Hammer, R. H. Hodgson and R. W. Langhans. 1977. Contaminants in plant growth chambers. HortSci. 12:310-311.

88. Bailey, W. A., H. H. Kluster, D. T. Krizek, and N. W. Stuart. 1970. CO₂ systems for growing plants. TRANSACTIONS of the ASAE 13(3):263-268.

89. Wareing, P. F., M. M. Khalifa and K. J. Treherne. 1968. Rate-limiting processes in photosynthesis at saturating light intensities. Naturwissenschaften 220:453-457.

90. Measures, M., P. Weinberger, and H. Baer. 1973. Variability of plant growth within controlled-environment chambers as related to temperature and light distribution. Can. J. Plant Sci. 53:215-220.

91. Hanan, J. I., W. D. Holley, K. L. Goldsberry. 1978. Greenhouse management. Chap. 8. Carbon dioxide and pollution, Springer Verlag, New York, pp. 323-350.

92. Kakahashi, K. 1977. Increase in photosynthetic rate of vegetable crops with CO₂ enrichment. Acta Hort. 76:137-140.

93. Aikin, W. J., and J. J. Hanan. 1975. Photosynthesis in the rose; Effect of light intensity, water potential, and leaf age. J. Am. Soc. Hort. Sci. 100:551-553.

94. Thompson, C. J. and J. J. Hana. 1975. Effect of CO₂ concentrations on roses. I. CO₂ uptake by individual leaves. Colo. Flower Growers' Assoc. Bull. 306, pp. 1-4.

95. Gaastra, P. 1963. Climatic control of photosynthesis and respiration. In: Environmental control of plant growth, L. T. Evans, ed., Academic Press, pp. 113-140.

96. White, R. A. J. 1977. Response of tomatoes to low night high day temperatures and carbon dioxide enrichment. Acta Hort. 76:141-146.

97. Skelly, J. M., M. F. George, H. E. Heggstad, and D. T. Krizek. 1979. Air pollution and radiation stresses. Chapter 2.4. pp. 114-138. In: Modification of the aerial environment of plants. ASAE Monograph No. 2. B. J. Barfield and J. F. Gerber, (eds.). ASAE, St. Joseph, MI 49085.

98. Mellor, R. S., F. B. Salisbury, and K. Raschke. 1964. Leaf temperatures in controlled environments. Planta. 61:56-72.

99. Grace, J. 1977. Plant responses to wind. Experimental Botany Monograph, Vol. 13, Academic Press, New York, 204 pp.

100. Drake, B. G., K. Raschke, and F. B. Salisbury. 1920. Temperatures and transpiration resistances of *Xanthium* leaves as affected by air temperature, humidity, and wind speed. Plant Physiol. 46:324-330.

101. Gates, D. M. 1976. Energy exchange and transpiration. In: Water and plant life, C. O. Lange, L. Kappen and E. Schulze, eds., Springer-Verlag, New York. pp. 137-147.

102. Krizek, D. T. 1978. Air movement. In: A growth chamber manual: Environmental control for plants, R. W. Langhans, ed., Cornell University Press, Ithaca, N.Y., pp. 107-116.

103. Tranquillini, W. 1969. Photosynthese and transpiration einiger Holzarten bei verschiedenen stacken. Wind. Geobl. ges. Forstw. 86:35-49 (cited by Grace, 1977). Centralblatt fur das gesamte Forstwesen.

104. Fitter, A. H., and R. K. M. Hay. 1981. Environmental physiology of plants. Experimental botany monograph, vol. 15, J. F. Sutcliffe, ed., Academic Press, New York.

105. Salisbury, F. B. 1979. Temperature. In: Controlled environment guidelines for plant research, T. W. Tibbitts and T. T. Kozlowski, eds., Academic Press, New York, pp. 75-116.

106. Boodley, J. W. and R. Sheldrak. 1972. Cornell peat-lite mixes for commercial plant growing. Cornell Univ. Exten. Info. Bull. 43.

107. de Broodt, M. (Chm.). 1974. Symposium on artificial media in horticulture. Acta Hort. No. 37, (a) Brent, A. C., pp. 1954-1965, (b) de Broodt, M., pp. 1909-1917, (c) Gartner J. B. et al. pp. 2003-2012, (d) Nowasielski, O. pp. 1992-2002.

108. Brooking, I. R. 1975. Soilless potting media for controlled-environment facilities. N. Z. Jour. Expt. Agri. 4:203-208.

109. Beardsell, O. V. 1979. Physical properties of nursery potting mixtures. *Scientia Hort.* 11:1-8, 9-17.
110. Penningfield, F. (chm). 1972. 3rd Symposium on peat in horticulture. *Acta Hort.*, No. 26. (a) de Broodt, M. and O. Verdonck, pp. 37-44. (b) Kaukovirta, E., pp. 119-124, (c) Morgan, J. V. pp. 149-158.
111. Watts, W. R. 1975. Air and soil temperature differences in controlled environment as a consequence of high radiant flux densities and of day/night temperature changes. *Plant and Soil* 42:299-303.
112. Torrey, J. G. 1953. Effects of light on elongation and branching in pea roots. *Plant Physiol.* 27:591-602.
113. Benton-Jones, J. 1975. Greenhouse tomato nutrition. Greenhouse Vegetable Workshop, Bull. y-94, pp. 93-95. Natl. Fert. Dev. Center, TVA, Muscle Shoals, AL.
114. Walker, J. M. 1969. One degree increments in soil temperatures affect maize seedling behavior. *Proc. Soil Sci. Am.* 33:729-736.
115. Heydecker, W. (ed). 1973. Seed ecology. Penn. State Univ. Press, PA. (a) Gutterman, Y. pp. 59-80, (b) Hegarty, T. W., pp. 441-432.
116. Smith, L. B. and R. J. Downs. 1974. *Pitcairnioidae*. Flora Neotropica, Monograph 14, Hafner Press, NY.
117. Koller, D. 1972. Environmental control of seed germination. In: *Seed biology*, vol. 2 (T. E. Kozłowski, ed.). Academic Press, NY. pp. 1-102.
118. Toole, E. H., S. B. Hendricks, H. A. Borthwick and V. K. Toole. 1956. Physiology of seed germination. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 7:299-324.
119. Mayer, A. M. and A. Poljakoff-Mayber. 1963. *The germination of seeds*. Pergamon Press, Oxford Lond.
120. Cooper, A. J. 1973. Root temperature and plant growth. *Res. Rev. Commonwealth Bureau of Horticulture and Plantation Crops*.
121. Phatak, S. C., S. H. Wittwer and F. G. Teubner. 1966. Top and root temperature effects on tomato flowering. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 88:527-531.
122. Bateman, D. F. and A. W. Dimock. 1959. The influence of temperature on root rots of poinsettia caused by *Thielaviopsis basicola*, *Rhizoctonia solani* and *Phytophthora ultimum*. *Phytopathology* 49:641-647.
123. Krug, H. (chm) 1974. Symposium on basic problems of protected vegetable production. *Acta Hort.* No. 39, (a) Folster, E. pp. 153-159.
124. Northey, J. E., C. E. Hendershott and J. F. Gerber. 1968. Effect of three root stocks and three soil temperatures on growth of Orlando tangelos. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 93:199-204.
125. Biran, I. and A. Eliassaf. 1980b. The effect of container size and seration conditions on growth of roots and canopy of woody plants. *Sci. Hort.* 12:385-394.
126. Biran, I. and A. Eliassaf. 1980a. The effect of container shape on the development of roots and canopy of woody plants. *Sci. Hort.* 12:183-193.
127. Kramer, P. J. 1969. *Plant and soil water relationships: A modern synthesis*. McGraw-Hill, NY.
128. Kozłowski, T. T. 1972. *Water deficit and plant growth*. Academic Press, NY.
129. Musnell, H. and R. C. Staples. 1979. *Stress physiology in crop plants*. John Wiley & Sons, NY.
130. Bewley, J. D. 1979. Physiological aspects of dessication tolerance. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 30:195-238.
131. Krizek, D. T. 1982. Plant response to atmospheric stress caused by waterlogging. In: *Breeding plants for less favorable environments*, M. N. Christiansen and C. F. Lewis, eds., John Wiley & Sons, New York. pp. 293-334.
132. Bahrt, G. M. et al. 1941. Hunger signs in crops. *Am. Soc. Agron. and Natl. Fertilizer Assoc.*
133. Krug, H., H. J. Wiebe and A. Jungk. 1972. Calciummangel an blumenkohl unter konstanten klimabedingungen. *Zeitsch. f. Pflanzenernahrung und Bodenkunde* 133:213-226.
134. Williams, D. E. and J. Blamis. 1962. Differential cation and ion absorption as affected by climate. *Plant Physiol.* 37:198-202.
135. Ruffy, T. W., G. S. Miner and C. D. Raper. 1979. Temperature effects on growth and manganese tolerance in tobacco. *Agron. J.* 71:638-644.
136. Chang, S. Y., R. H. Lowe and A. J. Hiatt. 1968. Relationship of temperature to the development of calcium deficiency symptoms in *Nicotiana tabacum*. *Agron. J.* 60:435-436.

137. Baker, K. F. (ed.) 1957. The U. C. system for producing healthy container-grown plants. Manual 23, Univ. of California, Division of Agricultural Sciences.
138. Shih, K. L. and K. A. Souza. 1978. Degradation of biochemical activity in soil sterilized by dry heat and gamma radiation. *Origins of Life*, vol. 9. September.
139. Reynolds, M. C., K. F. Lindell and T. J. Davis. 1973. Thermoradiation sterilization of naturally occurring microorganisms in soil from Kennedy Space Center, NASA CR 132197. May.
140. Rowe, R., J. Farley and D. Coplin. 1977. Airborne spore dispersal and recolonization of steamed soil by *fusarium oxysporum* in tomato greenhouses. *Phytopathology*, 67(12):1513-1517.
141. Dawson, J. R., A. A. T. Killy, M. H. Ebben and F. T. Last. 1967. The use of steam/air mixture for partially sterilizing soils infested with cucumber root rot pathogens. *Annals of applied biology* 60:215-222.
142. Wuest, P. H. and R. K. Moore. 1972. Additional data on the thermal sensitivity of selected fungi associated with *Agaricus bisporus*. *Phytopathology* 62(12):1470-1474.
143. Deiner, G. H., R. A. Aldrich and M. E. Schroeder. 1977. Heating soils and soil mixes with saturated air. *TRANSACTIONS of the ASAE* 20(1):126-130.
144. Cathey, H. M., L. H. Campbell and R. W. Thimijan. 1983. Radiation and plant response: A new view. pp. 323-331. In: *Strategies for Plant Reproduction*, W. J. Meudt (ed.), Allanheld, Osmun Publ., Toronto.
145. Cathey, H. M. and L. E. Campbell. 1980. Light and lighting systems for horticultural plants. *Hort. Rev.* 2:491-537.
146. Parker, M. W. and H. A. Borthwick. 1949. Growth and composition of Biloxi soybean grown under controlled environment with radiation from different carbon arc lamps. *Plant Physiol.* 24:345-358.
147. Warrington, I. J. 1977. Lighting systems in controlled environment chambers. *Proc. Workshop on Controlled Environments*. Tech. Rpt. 6:12-19. D.S.I.R. Palmerston North, N.Z.

معدل سريان الهواء لمنشآت البيوت المحمية*

(QUANTITY OF AIR FLOW FOR GREENHOUSE STRUCTURES)

• مقدمة • الاتزان الحراري لبيت محمي • الاتزان الكتلي
• بيت محمي مهوي • اختيار قيم حسابات انتقال حرارة-
كتلة • بعض التطبيقات النموذجية • الخلاصة

مقدمة

(INTRODUCTION)

يتم التحكم في درجات الحرارة- نتيجة الطاقة الشمسية المكتسبة داخل البيوت المحمية- باستخدام التهوية مع الهواء الخارجي. وقد يكون نظام التهوية وحده في كثير من الأحيان وخاصة في الصيف غير كاف لخفض درجة الحرارة إلى المستوى المطلوب، فيتم خفض درجة الحرارة في تلك الحالات باستخدام نظام تبريد تبخيري. ويعمل التبريد التبخيري أيضاً على زيادة رطوبة الهواء وتقليل الإجهاد المائي على النبات. وتعتبر نظم التهوية الطبيعية والميكانيكية من النظم الشائعة الاستخدام، ويكون أداء تلك النظم جيداً إذا حدث تبادل كاف للهواء. ويعتبر استخدام التهوية الميكانيكية ضرورياً مع نظام التبريد التبخيري.

ومن الشائع تطبيق الاتزان الحراري على البيت المحمي لمعرفة مدى الحاجة إلى التهوية، ولتقدير ما إذا كان البيت المحمي في حاجة إلى تهوية فقط أو إلى تهوية وتبريد. ويتم ذلك عن طريق مساواة المكتسبات الحرارية مع الفواقد الحرارية.

* جون ن. ووكر : جامعة كيتاكي - ليكسنجتون
روبرت أ. ألدرش : جامعة كيتاكتيكات - ستورز
تيد ه. شورت : مركز الأبحاث والتطوير الزراعي - أوهايو، ووستر

ويعتبر تطبيق ظروف الحالة المستقرة على البيوت المحمية التجارية من الطرق الشائعة الاستخدام لتقدير متطلبات كل من التهوية والتدفئة^(٥,١). وقد طُوِّر عدد من الباحثين تحليلات ظروف الحالة الديناميكية المتغيرة أو غير المستقرة، والتي يمكن من خلالها تقييم التغيرات في درجات الحرارة الداخلية والخارجية وتأثير التخزين الحراري في المنشأة والنبات أو كتلة الأرض^(٤,٣). وتعتبر التحليلات الديناميكية ذات قيمة خاصة إذا ما استخدمت كأداة بحثية لتقييم تأثيرات التغيرات على العوامل التصميمية.

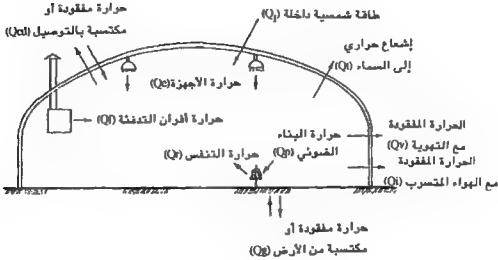
الانزان الحراري لبيت محمي

(ENERGY BALANCE FOR A GREENHOUSE)

يوضح الشكل رقم (١, ١١) مصادر الطاقة المختلفة التي يمكن أخذها في الاعتبار عند عمل الانزان الحراري داخل البيت المحمي. ويمكن حساب الانزان الحراري داخل البيت المحمي باستخدام المعادلة التالية، وذلك بغرض أن درجة حرارة الجو أقل من درجة الحرارة داخل البيت.

$$(11, 1) \quad Q_I + Q_g + Q_f + Q_r = \pm(Q_{cd} + Q_g) + Q_v + Q_l + Q_t + Q_p$$

وقد تم تعريف أجزاء المعادلة السابقة في الشكل رقم (١, ١١). ويمكن تحديد كل جزء من أجزاء المعادلة السابقة بعلاقة واحدة تسمح بتقييم هذا الجزء عند ظروف معلومة. وتكون بعض المركبات صغيرة بطبيعتها بحيث يمكن إهمالها بالمقارنة بالمركبات الأخرى. فمثلاً تعتبر حرارة التتح من أنسجة النبات صغيرة للغاية^(٧,١). وتغير تلك المركبة تغيراً طفيفاً اعتماداً على ظروف النبات وظروف الإضاءة ودرجة الحرارة. وتكون فقط من ٨١ إلى ١٠١ الطاقة المصاحبة لعملية بناء ضوئي مرتفعة ونشطة. وبالرغم من أن الطاقة المصاحبة للبناء الضوئي أكبر من حرارة التنفس، إلا أنها مازالت صغيرة جداً بالمقارنة بالامتصاصات أو الفواقد الحرارية الأخرى. وتتولد فقط مع وجود الإشعاع الشمسي، وتمثل حوالي ٣٪ من الطاقة الإشعاعية الساقطة على أوراق النبات^(٧,١). وعلى ذلك يمكن إهمالها في معظم الحالات.



شكل (١١، ١). الطاقات المفقودة والمكتسبة في بيت محمي

ويمكن أن تكون الحرارة المتدفقة من أو إلى الأرض إما مكتسبة أو مفقودة، اعتماداً على درجة الحرارة الداخلية إما أعلى أو أقل من درجة حرارة الأرض عند عمق مناسب. وفي بعض الأحيان تكون أرضية البيت معزولة عن الأرض، كما تستخدم الأرضية كمخزن حراري مؤقت للطاقة الشمسية^(٨). وعامة يكون معدل انتقال الحرارة إلى الأرض - بالنسبة للأرضية غير المعزولة - صغيراً إلى حد ما، وذلك بالمقارنة بانتقال الحرارة من خلال غطاء البيت المحمي^(٩). ويمكن أن يكون هذا الجزء جوهرياً للغاية بالنسبة للبيوت المحمية التي لا تستخدم تدفئة أو في البيوت المحمية التي تعطل فيها أجهزة التدفئة.

وتعتبر الحرارة المتولدة من التجهيزات المستخدمة مستمرة طالما تعمل الأجهزة. ومن أكثر أنواع كميات الحرارة المضافة من التجهيزات شيوعاً الإضاءة والمحركات الكهربائية وتجهيزات تهوية البيئة. وتعتبر الحرارة المتولدة من تشغيل المحركات الكهربائية أو الإضاءة عبارة عن إضافة حرارة للبيت المحمي. وتوجد الحرارة المضافة من أفران التدفئة فقط في حالة التشغيل للمحافظة على درجة الحرارة داخل البيت المحمي عند المستوى المرغوب. وقد يكون ذلك مطلوباً للإبقاء بالمتطلبات الخمرارية أو للتحكم في الرطوبة. ويمكن تحديد معدل الحرارة المتولدة من

الأفران من بيانات المصانع المنتجة لتجهيزات التدفئة.

الطاقة الشمسية المكتسبة (Solar Heat Gain)

تعتبر الطاقة الشمسية ضرورية لنمو النباتات . وعلى ذلك لابد وأن يكون البيت المحمي ذا نفاذية عالية للطاقة الشمسية ، خاصة في الشتاء عندما تكون مستويات الإضاءة بطبيعتها منخفضة . ويمكن تعريف الطاقة الشمسية المكتسبة كالآتي :

$$Q_T = \tau I A_f \quad (١١, ٢)$$

حيث :

τ = معامل نفاذية مادة غطاء البيت المحمي للطاقة الشمسية

I = شدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح أفقي ، ك. واط/ م^٢

A_f = مساحة أرضية البيت المحمي ، م^٢ .

وعلى ذلك يتم تغطية أجزاء من البيت المحمي في فصل الصيف بمواد عاكسة لتقليل كمية الطاقة الشمسية الداخلة . ولكن وبالرغم من استخدام تلك الطريقة ، إلا أنه لازالت توجد كمية كبيرة من الطاقة الشمسية تدخل إلى البيت المحمي . وتكون النتيجة وجود حمل طاقة كبير لابد من إزالته . ويمكن أن تكون الطاقة الشمسية الداخلة إلى البيت المحمي حتى في منتصف الشتاء كافية بحيث يستلزم عملية تهوية . وتتطلب عملية التهوية في تلك الفترات استخدام معدلات تهوية محدودة مع توخي الحذر في عملية توزيع الهواء داخل البيت لمنع انجراف تيار الهواء مسبباً برودة على أسطح النباتات .

الحرارة المكتسبة أو المفقودة بالتوصيل

(Conduction Heat Loss or Gain)

توجد عدة أنواع من سريان الطاقة والتي يمكن أن تكون إما طاقة موجبة أو سالبة . وتعتبر الحرارة المفقودة بالتوصيل من خلال جدران البيت المحمي من أهم تلك الأنواع . وتعتبر الحرارة المفقودة بالتوصيل من أكبر مركبات الفقد الحراري أثناء فترة التدفئة الشتوية . ويرجع السبب في ذلك إلى ضعف خواص مواد الغطاء

المستخدمة بالنسبة للعزل الحراري، حيث في الغالب ما تكون تلك المواد رقيقة وذات معامل نفاذية مرتفع. وعادةً ما تستخدم طبقتان أو ثلاث طبقات من مواد أغشية البيت المحمي لتقليل الحرارة المفقودة بالتوصيل. وقد يتم دهن جزء أو حائط أو كل مساحة سطح البيت المحمي بمواد معتمة عازلة؛ أو قد يتم إضافة عازل حراري إضافي أثناء الليل عندما تصبح قيمة (Q_i) صفراً، وتكون درجات الحرارة الخارجية منخفضة. ويمكن التعبير عن كمية الحرارة المفقودة بالتوصيل كالآتي:

$$Q_{cd} = UA(T_i - T_o) \quad (١١, ٣)$$

حيث:

U = معامل النقل الحراري الكلي، ك. واط/ (م^٢·م).

A = المساحة السطحية للبيت المحمي، م^٢

T_i = درجة الحرارة داخل البيت المحمي، م.

T_o = درجة حرارة الهواء الخارجي، م.

وتعتبر الحرارة المتقلة بالتوصيل في الغالب حرارة مفقودة في الفترات التي تستخدم فيها نظم تهوية؛ نظراً لارتفاع درجة الحرارة الداخلية عن درجة الحرارة الخارجية. ويكون ذلك صحيحاً وبالأخص عندما تتركز الأشعة الشمسية مع عدم توافر أي طريقة من طرق التبريد. وقد تكون درجة الحرارة داخل البيت المحمي أقل من درجة الحرارة الخارجية في حالة تبريد البيت المحمي باستخدام التبريد التبخيري. ويمثل انتقال الحرارة بالتوصيل في تلك الحالة طاقة مكتسبة.

الحرارة المفقودة مع التهوية (Heat of Ventilation)

تعتبر الحرارة المفقودة مع هواء التهوية أهم مركبة فقد حراري من داخل البيت المحمي في فترات الأجواء الباردة بعد مركبة الحرارة المفقودة بالتوصيل. وتكون الحرارة المفقودة مع هواء التهوية في كلتا صورتها المحسوسة والكامنة كالآتي.

$$Q_v = Q_{sv} + Q_{tv} \quad (١١, ٤)$$

حيث:

Q_{sv} = الحرارة للمحسوسة، ك. جول/ ث

Q_{tv} = الحرارة الكامنة، ك. جول/ ث.

وتعرف الحرارة المحسوسة على أنها الجزء من الطاقة الكلية المفقودة مع هواء التهوية والمسببة في رفع درجة حرارة الهواء، بينما تعرف الحرارة الكامنة على أنها الحرارة المفقودة في صورة بخار ماء. وتولد الحرارة الكامنة أساساً من تبخير ماء التربة وتنتج النبات. ويمكن وصف الحرارة للمحسوسة كالآتي:

$$Q_{sv} = (V/v)(C_p)(T_i - T_o) \quad (١١, ٥)$$

حيث:

V = معدل سريان هواء التهوية، م^٣/ث

v = الحجم النوعي للهواء، م^٣/كجم

يُقوّم عند الظروف الداخلية بالنسبة للمراوح الطاردة، وعند الظروف الخارجية بالنسبة للمنظم المضاعطة.

C_p = الحرارة النوعية للهواء الجاف (١, ٠)، ك. جول/(كجم هواء جاف. ك)

وتكون درجة حرارة الهواء الخارجي (T_o) في حالة استخدام التبريد التبخيري هي درجة حرارة الهواء الخارج من نظام التبريد. وقد تساوي تلك الدرجة في حالة استخدام مبرد تبخيري ذي كفاءة ٨٥٪:

$$\begin{aligned} T^{*o} &= T_o - 0.85 (T_o - T_{wb}) \\ &= 0.15 T_o + 0.85 T_{wb} \end{aligned} \quad (١١, ٦)$$

حيث:

T^{*o} = درجة حرارة الهواء الخارج من المبرد التبخيري، م°

T_{wb} = درجة الحرارة الرطبة للهواء الجوي، م°.

وقد أوضحت دراسات عديدة وجود ارتباط وثيق بين البخر-نتح الذي يحدث في البيت المحمي وبين الطاقة الشمسية الساقطة على المحصول^(١٢, ١١, ١٠). ففي الغالب ما تكون- بالنسبة للمحاصيل التي تنمو بنشاط- نسبة الطاقة المستخدمة في عملية البخر-نتح إلى الطاقة الشمسية الساقطة على الورقة ما بين ١, ٠ و ٥, ٠^(١١). ويوصى باستخدام القيمة ٥, ٠ في البيوت المحمية، حيث نسبة كبيرة من الأوراق تكون غير معرضة لأشعة الشمس نتيجة لتشابك أفرع النباتات، وكذلك نتيجة وجود ظلال هيكل المبنى على الأوراق^(١١, ١٠). ويسمح تعريف البخر-نتح في هذه الحالة بتحديد الحرارة الكامنة المفقودة مع التهوية كالآتي:

(١١, ٧)

$$Q_{lv} = (E)(F)(Q_1)$$

حيث :

E = نسبة البخر - نتح إلى الإشعاع الشمسي

F = نسبة امتلاء البيت للمحمي بالنباتات ، كسر عشري .

وتسمح النسبة (F) بعملية ضبط مناسبة في حالة ما إذا كانت نسبة حيّز النمو الفعلي إلى حيّز المشى منخفضة، أو في حالة ما إذا كانت أحجام النباتات صغيرة للغاية، وكذلك في حالة جفاف مساحة كبيرة من حيّز مرقد النبات.

وتؤثر الظروف الجوية - بالإضافة لما سبق ذكره - على كمية الطاقة الشمسية المستخدمة في عملية البخر-نتح . فقد تتولد معدلات مرتفعة من البخر-نتح في الأجواء الحارة الجافة مع وجود نسبة رطوبة منخفضة للغاية . ويتيح ذلك استخدام معدلات ري كافية للمحافظة على النباتات وبقائها متفتحة . ويمكن بالمثل في الأجواء الرطبة جداً تقليل البخر-نتح كجزء من الإشعاع الشمسي الكلي النافذ إلى البيت . ولكن يقترح عامة استخدام قيمة متوسطة كلية للبخر ٥ ، ٠ .

وتحسب الطاقة المفقودة مع الهواء المتسرب من البيت للمحمي بنفس طريقة حساب الطاقة المفقودة مع هواء التهوية . والتسرب عبارة عن حركة هروب طبيعية للهواء من خلال التشققات أو أي فتحات أخرى صغيرة في بناء البيت المحمي نتيجة لفروق ضغط الرياح أو قوى الطفو الحراري . ويمكن تقليل تسرب الهواء عن طريق غلق وسد تلك الفتحات والشقوق . ويعتبر التسرب نوعاً من أنواع التهوية الطبيعية غير المتحكم فيها ، ويعتمد أساساً على صيانة ونوع المنشأة . وبين الجدول رقم (١١ ، ١) معدلات تبادل الهواء الموصى باستخدامها نتيجة التسرب^(١٣) . وعادةً ما تكون تلك القيم منخفضة في الأجواء الباردة نتيجة تجمد الرطوبة المكتشفة على شقوق الجدران .

تبادل الإشعاع الحراري (Thermal Radiation Exchange)

يمكن أن تكون الحرارة المنتقلة بالإشعاع الحراري (Q_r) مباشرةً من خلال جدران البيت للمحمي إلى الجو الخارجي عاملاً مؤثراً عند استخدام مواد أغطية مثل البولي

جدول (١١، ١). معدلات التبادل الهوائي الطبيعي نتيجة التسرب من البيوت المحمية.

نظام الإنشاء	التبادلات الهوائية في الساعة*
منشأة جديدة، زجاج أو ألواح زجاجية	١,٥ - ٠,٧٥
منشأة جديدة، طبقة مزدوجة من البلاستيك	١,٠ - ٠,٥
منشأة قديمة،	٢,٠ - ١,٠
منشأة قديمة، زجاج ذو حالة ركيكة	٤,٠ - ٢,٠

* تقلل سرعة الرياح المنخفضة أو الحماية من الرياح من معدل التبادل الهوائي. ويجب أن تستخدم القيمة ٠,٥ أو أقل في حالة انخفاض درجة الحرارة الخارجية عن درجة التجمد؛ نظراً لأن التكثيف المتجمد قد يسد الفتحات الصغيرة.

إيشيلين الذي يعتبر من المواد ذات الإمرارية العالية للإشعاع الحراري. ويمكن وصف العلاقة بالمعادلة التالية :

$$Q_t = C (T_i^4 - \epsilon_a T_o^4) \quad (١١, ٨)$$

حيث :

$$\epsilon_s \epsilon_t \sigma A_f = C$$

ϵ_s = معامل الإصدار الحراري للأسطح الداخلية (يساوي تقريباً ٠,٨٥)

ϵ_t = معامل النفاذية الحراري

σ = ثابت امتثافان-بولتزمان (٦٧, ١٠×٥^{-٨} واط/م^٢ ك^٤)

T_i = درجة الحرارة الداخلية المطلقة، °ك

T_o = درجة الحرارة الخارجية المطلقة، °ك

ϵ_a = معامل الإصدار الظاهري للجو، محدد في الجدول رقم (١١, ٢).

وتعتبر معظم المواد المستخدمة في تغطية البيوت الزجاجية ضعيفة أو شبه معتمة بالنسبة للنفاذية للإشعاع الحراري. وقد لا تكون لهذه المركبة أهمية كبيرة في حسابات الاثران الحراري. وقد يتضاءل معامل النفاذية إلى درجة كبيرة في حالة حدوث تكثيف لقطرات الماء على مادة البولي إيثيلين. ويرجع السبب في ذلك إلى إعاقة الماء لمرور الإشعاع الحراري في المدى (من ٢٠ إلى ٥٠ م^٢). ومع ذلك فإنه من الشائع إضافة هذا الفقد الحراري إلى الجزء المحدد للفقد الحراري بالتوصيل (U).

جدول (١١،٢). معامل الإصدار الظاهري للجو

درجة الحرارة الرطبة، °م	E_a
١٧,٨ -	٠,٧٣
٦,٧ -	٠,٧٧٥
٤,٤	٠,٨١٨
١٥,٦	٠,٨٥٨
٢٦,٧	٠,٨٨٣

ويوضح الجدول رقم (١١،٣) بعض قيم معاملات النفاذية الخاصة ببعض المواد المستخدمة في البيوت المحمية. ويمكن الحصول على قيم لمعامل الفقد الحراري بالتوصيل (U) ومعامل انتقال الحرارة بالإشعاع كل على حدة من (ASHRAE)⁽¹⁶⁾.

جدول (١١،٣). نسب إمرار الإشعاع الشمسي والحراري خلال أنواع مختلفة من الأغشية^(١٧).

نوع الطبقة	المتوسط اليومي للإمرار الشمسي طبقة* طبقة واحدة	الإمرار الحراري طبقة واحدة
بولي إيثيلين (٠,١ م)	٨٩	٧٩
ألياف زجاجية، منبسطة (٠,٦٤ م)	٨٣	٧٠
ألياف زجاجية، محسنة (١,٠٢ م)	٧٣	٥٠
بولي امستر، مقاوم لظروف الجو، (٠,١٣ م)	٨٧	٧٨
ألياف زجاجية، مخرجة (١,٠٢ م)	٧٩	٦٢
زجاج، (١,٨ م)	٨٨	٧٨
كربونات متعدد، (١,٥٩ م)	٨٤	٧٣
بولي فينيل كلوريد (٠,٠٨ م)	٩١	٨٤

* يمكن الحصول على معامل الإمرار خلال أي تركيبة من مادتين مختلفتين من (Bond et al.)⁽¹⁷⁾

وينتج الآتي بتجميع المركبات السابقة في المعادلة رقم (١١،١) مع إهمال كل من حرارة التنفس (Q_p) وحرارة البناء الضوئي، (Q_p)، والحرارة المتبادلة مع الأرض (Q_g) وإضافة الحرارة المتولدة من التجهيزات (Q_e) إلى حرارة التدفئة (Q_h):

$$(٩, ١١) \quad \tau I A_f + Q_f = UA(T_i - T_o) + (V/v)(C_p)(T_i - T_o) + (E)(F)(\tau)(I)(A_f) + C(T_i^4 - \epsilon_a T_o^4)$$

وقد اعتبرت الحرارة المفقودة بالإشعاع الحراري من خلال مادة غطاء البيت المحمي في هذه الحالة منفصلة عن الحرارة المفقودة بالتوصيل. أما إذا تم اختيار (U) بحيث تتضمن أيضاً الإمرار الحراري، فإنه يمكن خفض المعادلة السابقة إلى:

$$(١٠, ١١) \quad \tau I A_f + Q_f = UA(T_i - T_o) + (V/v)(C_p)(T_i - T_o) + (E)(F)(\tau)(I)(A_f)$$

ويمكن حل هذه العلاقات بالنسبة لفصلي الصيف والشتاء لإيجاد معدل التهوية المطلوب لأي شكل من أشكال البيوت المحمية.

ويمكن خفض درجة الحرارة داخل البيت المحمي عن المستوى المطلوب في حالة ما إذا كان معدل التهوية المطلوب للتحكم في الرطوبة أو لمنع نضوب غاز (ك) (١). ويمكن توفير مصدر حرارة خارجي في هذه الحالة للمحافظة على درجة الحرارة المرغوبة. ويتم حساب (Q_f) من المعادلة رقم (٩, ١١) أو (١٠, ١١) لمعرفة كمية الطاقة الواجب إضافتها للمحافظة على درجة الحرارة الداخلية المطلوبة.

الأتزان الكتلي لبيت محمي مهوي

(MASS BALANCE OF A VENTILATED GREENHOUSE)

مستويات الرطوبة الصيفية (Summer Humidity Levels)

يتم استخدام الأتزان الكتلي لإيجاد مستويات الرطوبة التي قد تتولد داخل بيت محمي مهوي. ويعتبر الأتزان الكتلي معاملاً للأتزان الحراري المستخدم لإيجاد معدلات التهوية المطلوبة للتحكم في درجة الحرارة. وتعتبر العلاقات المستخدمة أكثر سهولة؛ نظراً لعدم وجود انتقال للرطوبة خلال جدران البيت المحمي. وعلى ذلك يكون الأتزان الكتلي بالنسبة لظروف صيفية كالآتي:

(١١, ١١)

$$W_p = W_{ve}$$

حيث:

W_p = الرطوبة المضافة لبيئة البيت المحمي بواسطة التبخير، كجم/ث

W_{ve} = الرطوبة المتبادلة مع هواء التهوية، كجم/ث.

ويمكن وصف الرطوبة المنزلة مع هواء التهوية بواسطة:

(١١، ١٢)

$$Mve = (V/v)(Wi - Wo)$$

حيث:

Mve = معدل الرطوبة المزالة، كجم ماء/ ساعة

Wi = نسبة الرطوبة الداخلية، كجم ماء/ كجم هواء جاف

Wo = نسبة الرطوبة الخارجية، كجم ماء/ كجم هواء جاف

v = الحجم النوعي للهواء، م^٣/ كجمV = معدل الهواء المستخدم، م^٣/ ساعة.

ويمكن الحصول على متوسطات قيم الرطوبة الصيفية المتطرفة من المعلومات الخاصة بكل من درجة الحرارة الجافة والرطوبة والمُدونة في الجدول رقم (١) في الملحق (أ). ويمكن الحصول على نسبة الرطوبة الداخلية بحل العلاقات السابقة بالنسبة لمعدلات سريان هواء مختلفة. ويمكن التنبؤ بالرطوبة النسبية الداخلية بمعلومية نسبة الرطوبة ودرجة الحرارة الداخلية المتنبأ بها من المعادلة رقم (٩، ١١) أو (١١، ١٠).

مستويات الرطوبة الشتوية (Winter Humidity Levels)

يمكن التنبؤ بالرطوبة النسبية الداخلية في فصل الشتاء في بيت محمي مهوي يستخدم تقليب إيجابي للهواء باستخدام درجات الحرارة المتنبأ بها للسطح الداخلي، مع فرض أن تلك الدرجة هي درجة حرارة تكثيف نقطة- الندى، ومع الأخذ في الاعتبار لعمليات إعادة البخر من التربة وأسطح النبات^(١٠). وتكون العلاقة كالآتي:

(١١، ١٣)

$$R.H. = [100/(A+Ag)][Ag + (Pp \cdot A)/Pg]$$

حيث:

R.H. = الرطوبة النسبية الداخلية، نسبة مئوية

A = مساحة حدود البيت للحمي، م^٢Ag = مساحة الأرضية المبللة، م^٢

Pp = ضغط البخار المشبع والمصاحب لدرجة حرارة الحدود الداخلية،

كيلو باسكال.

P_g = ضغط البخار المشبع والمصاحب للدرجة حرارة الوسط الداخلية ،
كيلو باسكال .

ويمكن خفض الرطوبة بالتهوية إذا اعتقد المربون أن الرطوبات الشتوية تكون أعلى من المستويات المقبولة . ويمكن إيجاد التهوية المطلوبة أثناء اليوم باستخدام المعادلات أرقام (٩، ١١) و (١٠، ١١) و (١٢، ١١) و (١٣، ١١) . وقد تكون الرطوبة المتولدة أثناء الليل داخل البيت المحمي أقل من المتحصّل عليها بواسطة المعادلة رقم (٧، ١١) . وقد وصف (Walker and Walton)⁽¹⁵⁾ تبخر الرطوبة في هذه الحالة كالآتي :

$$W_p = A_f K_d (P_g - P_a) \quad (١١، ١٤)$$

حيث :

K_d = معامل الانتشار

P_a = ضغط بخار هواء الجو الداخلي ، كيلو باسكال .

ويمكن إيجاد الرطوبة النسبية في الليل لبيت محمي مهوى باستخدام هذه العلاقة والمعلومات السابقة .

اختيار قيم حسابات انتقال حرارة-كتلة

(SELECTION OF VALUES FOR HEAT-MASS

TRANSFER CALCULATIONS)

تعتبر العلاقات والقيم التي سبق وصفها في المقطع الأخير من أكثر المعادلات الشائعة الاستخدام ، كما أن القيم التي تستخدم مع أجزائها العديدة متوافرة في كثير من المراجع . ويتطلب اختيار القيم الأكثر ملاءمة فهمًا لطبيعة البحث الحقلّي والقدرة على تفسير ذلك البحث والمعرفة بظروف بناء المنشأة وفهم للصفات التجهيزية والإنشائية التي سوف تؤثر على الاتزان الحراري والرطوبة داخل البيت المحمي . ومن العوامل المهمة التي يجب أخذها في الاعتبار : الظروف التصميمية الداخلية والظروف التصميمية الخارجية وخصائص مادة الغطاء وشدة الإشعاع الشمسي .

الظروف التصميمية الداخلية (Interior Design Conditions)

لكي يتم تحديد معدل التهوية المطلوب ، فإنه لابد أولاً من تعريف درجة الحرارة الداخلية . وقد تم عرض تأثير درجة الحرارة على النباتات في الفصل العاشر . ومن المعروف أن لكل نبات درجة حرارة مثلى لنموه . ولكن يعتبر الوصول إلى درجات الحرارة المثلى مكلفاً من الناحية الاقتصادية ، كما أنه يصعب عملياً الوصول إلى تلك الدرجات . فتتعرض درجة الحرارة المطلوبة داخل البيت للمحمي ولعظم المحاصيل إلى تغيرات يومية وموسمية . ويجب بناءً على ذلك أن يتغير معدل التهوية أيضاً . ونظراً لاختلاف درجات الحرارة المرغوبة بين فترات الليل والنهار ، فإنه غالباً ماتستخدم مفاتيح ليل-نهار وقتية للتحويل بين مستويي التحكم .

ويُفضل - للحصول على مرونة في الأداء مع بعض التضحيات البسيطة بالنسبة للنباتات - أن تكون درجة الحرارة داخل البيت المحمي في المدى 10°C - 28°C .^{٢٨} ويسمح استخدام بيت محمي مع هذا المستوى من التحكم في درجة الحرارة بنمو معظم المحاصيل التجارية .

وكثيراً ماتزداد درجات الحرارة داخل البيت المحمي في الأيام الصافية الدافئة على درجة الحرارة المرغوبة والمتحكم فيها بواسطة التهوية . وقد تكون التهوية وحدها غير كافية ، كما يجب استخدام التبريد التبخيري إذا كان يصعب مقاومة ارتفاع درجة الحرارة عدة درجات أعلى من درجة حرارة الجو . وبين الجدول رقم (١) في الملحق (١) درجات الحرارة التصميمية الصيفية لمناطق مختارة بعد استبعاد 5°C ، 2°C من أدفأ القراءات بالنسبة لأدفاً أربعة شهور صيفية . وتتغير درجات حرارة الصيف المرتفعة بالنسبة للولايات المتحدة القارية ما بين 30°C و 40°C . ويمكن خفض تلك الدرجات بواسطة التبريد التبخيري إلى المدى ما بين 20°C و 30°C على الترتيب .

وعلى الرغم من أن درجة الحرارة داخل البيت للمحمي من أهم العوامل البيئية الحرجة ، إلا أن الرطوبة داخل البيت للمحمي تعتبر أيضاً مهمة للغاية . وقد تتولد مشاكل حادة مرتبطة بالتكثيف والأمراض إذا سُمح للرطوبة لتبقى عند أو بالقرب من التشبع لفترات طويلة . ولهذا السبب يجب حفظ الرطوبات النسبية في الشتاء عامة عند مستويات أقل من 85% بقدر الإمكان .

وتعتبر رطوبة نسبية أقل من ٧٠٪ أيضاً غير مرغوبة سواء في الشتاء أو في الصيف. ويرجع السبب في ذلك لما قد تضيفه من إجهادات على النباتات. ولهذا السبب يفضل استخدام التبريد التبخيري لما له من ميزة رفع نسبة الرطوبة للهواء المبرد الداخل إلى البيت المحمي، وذلك بالإضافة إلى كفاءة التبريد المرتفعة. فيعمل هذا النوع من المبردات على زيادة رطوبة الهواء بتبخير الماء في هواء التهوية.

الظروف التصميمية الخارجية (Exterior Design Conditions)

يحتوي الجدول رقم (١) في الملحق (أ) على درجات حرارة الجو التصميمية بالنسبة لكل من فصلي الصيف والشتاء لمناطق مختارة. وقد سُجِّلَتْ في هذا الجدول درجتان حراريتان شتريتان تمثلان درجة الحرارة المنخفضة المتوقعة لمتوسط قراءات سنة بعد استبعاد أبرد ١٪ و ٥٪ من القراءات أثناء شهور ديسمبر ويناير وفبراير. ويوصى باستخدام تلك الدرجات مع استبعاد النسبة ١٪ بالنسبة للتصميمات الأكثر تحفظاً. وتعتبر درجات الحرارة الجافة والرطوبة لفصل الصيف أدفاً قراءات أثناء شهور يونيو ويوليو وأغسطس وسبتمبر. ويكون المتوسط عند درجات الحرارة الباردة المتطرفة على مدار العام لمعظم المواقع حوالي ٢°م أقل من القيم المسجلة في الجدول. ويمكن الحصول على بيانات الأرصاد الجوية لمناطق أخرى عديدة في الولايات المتحدة وكندا من ⁽¹⁶⁾ (ASHRAE Guide and Data Book, Fundamentals).

وليس بالضرورة يجب أن تقع أقصى درجة حرارة رطوبة في أي يوم في الفترات ذات أقصى درجة حرارة جافة. فقد أوضحت دراسة على بيانات أرصاد ٢٣ عاماً لمدينة ليكسنجتون بولاية كنتاكي أن درجة الحرارة الرطوبة المترابطة مع أقصى درجة حرارة جافة وأقصى درجة حرارة رطوبة قد اختلفت في حدود ٣°م. وقد أوضح ⁽¹⁶⁾ (ASHRAE) أن الأخطاء سوف تقل جذرياً بالنسبة للمناطق القريبة من السواحل. ونظراً لأن الفرق حوالي ٣°م فقط، فإنه يمكن استخدام هذه القيم من درجات الحرارة الرطوبة لتقدير إمكانات التبريد التبخيري. وسوف تكون تلك التقديرات منخفضة بالنسبة لأداء النظام. ويوجد لدى نظم التبريد التبخيري المصممة جيداً كفاءات تبريد حوالي ٨٥٪.

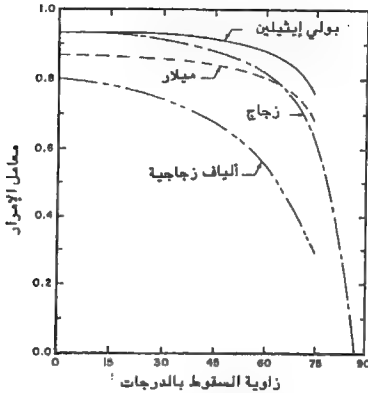
ويمكن الرجوع واستشارة أقرب محطة أرصاد محلية بالنسبة للبيوت المحمية التي تستخدم فقط في فترة محددة من السنة. ويمكن الحصول على بيانات الأرصاد من أقرب محطة أرصاد بالنسبة لموقع البيت المحمي. وعامة يجب أن تصمم وتبنى البيوت المحمية لتسمح بالإنتاج على مدار العام.

خصائص مادة الغطاء (Characteristics of the Glazing Material)

يتضح من مراجعة الأجزاء المختلفة للاتزان الحراري الموضحة في الشكل رقم (١، ١١) والمعادلة رقم (١، ١١) أن خصائص مادة الغطاء مهمة للغاية. ومن بين تلك الخصائص المهمة: نفاذية مادة الغطاء للإشعاع الشمسي والنفاذية للإشعاع الحراري ومعامل النقل الحراري الكلي (قيمة U).

نفاذية الإشعاع الشمسي (Transmission of Solar Radiation): لا بد وأن تكون مادة الغطاء ذات نسبة نفاذية عالية للطاقة الشمسية في الشتاء عندما يكون الضوء غالباً العامل المحدد لنمو النبات. وأحياناً يتم تغطية أجزاء من البيت المحمي في الصيف عند ازدياد الطاقة الشمسية عن الحد المرغوب؛ ولكن نادراً ما تستخدم تلك الأغشية في الأيام المضيئة في فصول الربيع والخريف والشتاء. وتمثل الطاقة الشمسية النافذة إلى داخل البيت المحمي - سواء استخدمت أغشية أو لم تستخدم - حمل التدفئة الرئيسي والذي لا بد من إزالته بهواء التهوية. ويبين الجدول رقم (٣، ١١) (١٧) معامل النفاذية لأنواع مختارة من الأغشية المستخدمة في البيوت المحمية. ويعتبر معامل النفاذية - كما هو واضح من الجدول - مرتفعاً نسبياً لمعظم أنواع الأغشية الشائعة.

وتعكس تلك القيم معاملات النفاذية الكلية للطاقة الشمسية سواء المباشرة أو غير المباشرة. وقد يكون لزواية سقوط الأشعة بالنسبة للطاقة الشمسية المباشرة تأثير واضح على النفاذية، ومن ثم التأثير على كمية ضوء الشمس الداخل إلى البيت المحمي^(١٧). ويعتبر هذا التأثير جوهرياً - كما هو واضح من الشكل رقم (٢، ١١) - عندما تكون زاوية السقوط أكبر من ٦٠ درجة. وبالرغم من ذلك، فإنه يمكن - من وجهة نظر تحليل متطلبات التهوية - تقدير الطاقة الشمسية الداخلة إلى البيت المحمي باستخدام قيم معامل النفاذية في الجدول رقم (٣، ١١).



شكل (١١،٢). معامل إمرار الإشعاع الشمسي خلال مواد أغشية مختلفة عند زوايا سقوط متعددة.

نفاذية الإشعاع الحراري (Transmission of Thermal Radiation)

يمكن أن تكون الأشعة المتبادلة بين كل من أرضية البيت المحمي ومادة النبات والطاولات مع طبقات الجو العليا ذات تأثير جوهري. ويوضح الجدول رقم (١١،٣) أيضاً معامل نفاذية المواد للإشعاع الحراري. ويمكن أن يقلل تكثف بخار الماء على مادة الفطاء من معامل النفاذية. ولكن يجب مراعاة أن التكثيف قد يتكون أو لا يتكون بكميات قليلة في الأجواء الدافئة ومع استخدام التهوية. ويعتبر معامل النفاذية للإشعاع الحراري منخفضاً نسبياً - كما هو واضح من الجدول - لمعظم المواد باستثناء مادة البولي إيثيلين.

معامل انتقال الحرارة بالتوصيل (Conduction Heat Transfer Coefficient)

يمكن الحصول على قيمة معامل النقل الحراري الكلي (U) والمستخدم في حساب كل من الحرارة المفقودة والمكتسبة من خلال جدران البيت المحمي عن طريق

إيجاد معاملات النقل الحراري من المراجع العلمية المختلفة . وعامة تكون القيم المتحصل عليها من هذه المصادر أقل من القيم الشائعة والموضحة في الجدول رقم (٤, ١١) والمستخدم في إيجاد متطلبات تدفئة البيت المحمي^(١٢) . وتتضمن هذه القيم أيضاً المعامل الخاص بتبادل الإشعاع الحراري بحيث يسمح بحساب ليس فقط الحرارة المفقودة بالتوصيل ، بل أيضاً الحرارة المفقودة نتيجة الإشعاع الحراري المباشر . وبالرغم من أن قيم هذا الجدول تتيح تقديرات جيدة لكمية الطاقة المطلوبة ، إلا أن تلك التقديرات قد تكون أكثر دقة عند معاملة كل جزء على حدة . وتعتبر قيم تلك المعاملات والمُدونة في الجدول رقم (٤, ١١) صالحة فقط مع المواد ذات معاملات النفاذية المرتفعة ، ولا يمكن استخدامها عند تقييم كمية الحرارة المفقودة من خلال الحواجز الصلبة أو الأساسات .

جدول (٤, ١١). معاملات انتقال حرارة تقريبية لمواد أغطية البيوت المحمية

غطاء البيت المحمي	قيمة U واط / (م ^٢ . °م)
طبقة زجاج (محكم)	٦,٣
طبقة بلاستيك	٦,٨
طبقة من الألياف الزجاجية	٦,٨
طبقة مزدوجة من البلاستيك والبولي إيثيلين	٤
طبقة مزدوجة من الحرير الصناعي المقسي	٣
طبقة مزدوجة من الزجاج (محكم)	٣
طبقة مزدوجة من البلاستيك فوق الزجاج	٣
طبقة زجاج مع بطانة حرارية	٣
طبقة بلاستيك مزدوجة مع بطانة حرارية	٢,٥

وقد تم عند إيجاد تلك القيم فرض أن سرعة الرياح خارج البيت المحمي ١٢ (كم/ ساعة)، وأن الهواء داخل البيت المحمي في حالة سكون . ويعتبر الفرض الخاص بسكون الهواء داخل البيت المحمي غير ملائم إذا وجدت عملية تقليب إيجابية للهواء لمنع التراكم الطبقي لكل من الحرارة والرطوبة . ولكن في الغالب ما

تكون سرعة الهواء الموصى بها منخفضة نسبياً (عادة أقل من ١,٦ كم/ ساعة) ؛ وعلى ذلك، فيمكن إهمال أي خطأ لصغره. وبالمثل، قد تؤدي أي سرعة للرياح أعلى (أقل) من ١٢ (كم/ ساعة) إلى تقييم أكبر (أقل) من القيمة الفعلية لمعامل النقل الحراري الخارجي اعتماداً على سرعة الرياح الفعلية. وقد اعتبرت قيم هذا الجدول عامة ملائمة لتصميم نظم التهوية.

شدة الإشعاع الشمسي (Solar Radiation Intensity)

يعتبر الإشعاع الشمسي المصدر الرئيسي للحرارة الداخلة والذي يجب التخلص من الزائد منه بالتهوية. وتتغير شدة هذا المصدر الحراري أثناء النهار بارتفاع الشمس وزيادة زاوية الارتفاع الشمسي عن سطح الأرض. وتعتبر المعرفة الدقيقة لكمية الطاقة الشمسية الساقطة على البيت المحمي ضرورة عند التقدير الدقيق لمعدل التهوية المطلوب. وتساعد المعلومات المتوافرة في (ASHRAE Guide and Data Book, Fundamental^(١٦)) على سهولة إجراء تلك الحسابات.

وتقع أقصى كمية طاقة شمسية عند فترة الظهيرة، وعليه فإن تقييم معدل التهوية المطلوب يكون في الغالب عند هذا الوقت. ويبين الجدول رقم (١) في الملحق (أ) قيم زاوية ارتفاع الشمس عند الظهر لأيام ٢١ يونيو و ٢١ سبتمبر و ٢١ مارس بالنسبة للمناطق المختارة. ويمكن حساب شدة الإشعاع الشمسي على سطح أفقي باستخدام تلك القيم ومن المعادلة التالية^(١٦).

(١١, ١٥)

$$I = (C + \sin \beta) A e^{-B/\sin \beta}$$

حيث:

A و B و C ثوابت تحدد من الجدول رقم (١١, ٥)

β = زاوية الارتفاع الشمسي.

جدول (١١,٥). ثوابت حساب شدة الإشعاع الشمسي

التاريخ	A واط/م ^٢	B	C (نسب بدون وحدات)
يناير ٢١	١٢٣٠	٠,١٤٢	٠,٠٥٨
فبراير ٢١	١٢١٤	٠,١٤٤	٠,٠٦
مارس ٢١	١١٨٥	٠,١٥٦	٠,٠٧١
إبريل ٢١	١١٣٥	٠,١٨٠	٠,٠٩٧
مايو ٢١	١١٠٣	٠,١٩٦	٠,١٢١
يونيو ٢١	١٠٨٨	٠,٢٠٥	٠,١٣٤
يوليو ٢١	١٠٨٥	٠,٢٠٧	٠,١٣٦
أغسطس ٢١	١١٠٧	٠,٢٠١	٠,١٢٢
سبتمبر ٢١	١١٥١	٠,١٧٧	٠,٠٩٢
أكتوبر ٢١	١١٩٢	٠,١٦٠	٠,٠٧٣
نوفمبر ٢١	١٢٢٠	٠,١٤٩	٠,٠٦٣
ديسمبر ٢١	١٢٣٣	٠,١٤٢	٠,٠٥٧

تطبيقات نموذجية

(REPRESENTATIVE CALCULATIONS)

يمكن باستخدام معادلة الاتزان الحراري رقم (١١,٩) أو المعادلة رقم (١١,١٠) ومعادلة الاتزان الرطوبي (الكتلي) رقم (١١,١٢) داخل البيت للحمي حساب معدلات التهوية الضرورية للحصول على ظروف محددة. فيمكن دراسة تأثير تغيرات درجات الحرارة والرطوبة أو المواد المستخدمة على منشأة محددة، وكذلك يمكن أيضاً دراسة تأثير أساليب الزراعة والظروف التصميمية وكمية الحرارة الداخلة ومعدل التهوية. وسوف نستعرض في الفقرات التالية الحسابات التي لابد من إجرائها للحصول على تلك التقديرات.

منحنيات التهوية الصيفية للبيوت المحمية

(Summer Ventilation Curves for Greenhouses)

يمكن إيجاد العلاقة بين معدلات متعددة من التبادل الهوائي ودرجة الحرارة الداخلية عن طريق تطبيق المعادلة رقم (١٠، ١١) على بيت محمي نموذجي الشكل، مع فرض ظروف بيئية وجوية مختلفة. ويعتمد اختيار معدل التهوية الصيفية على نوع محدد من التحليلات؛ نظراً لتأثير نمو النبات بدرجات الحرارة داخل البيت للمحمي بمعدل أكبر من تأثيره بالرطوبات النسبية المنخفضة. وقد تساوي كمية الحرارة المضافة من الدفايات (Q_f) بالنسبة لتلك التحليلات صفراً، كما يمكن في حالة التهوية فرض أن كمية الهواء المتسربة من البيت المحمي تساوي أيضاً صفراً. ونظراً لأن درجة الحرارة الداخلية قد تكون أعلى من درجة الحرارة الخارجية في يوم صيفي - عندما يعمل الإشعاع الشمسي على إضافة حرارة إلى البيت للمحمي - فإن التبادل الحراري بالتوصيل يكون حالة لفقد للحرارة، أي أن السريان الحراري يكون إلى خارج البيت للمحمي.

مثال رقم ١.

احسب الزيادة في درجة حرارة الهواء في يونيو ٢١ داخل بيت محمي يقع في مدينة أطلانتا، بولاية جورجيا عند معدلات تهوية مختارة. افترض أن البيت للمحمي مغطى بطبقة واحدة ثم طبقتين من مادة البولي إيثيلين البلاستيكية، وأن مساحة الأرضية ١٢٠٠ م^٢ والمساحة السطحية لمادة الغطاء ١٨٠٠ م^٢، وأن الارتفاع المتوسط للبيت ٣ م. افترض أن البيت ممتليء بالنباتات (أي أن نسبة الامتلاء ١٠٠٪)، وأن نظام التهوية المستخدم من النوع الضاغط (أي تقوم المروحة بسحب الهواء الخارجي إلى الداخل).

الحل.

يمكن كتابة المعادلة رقم (١٠، ١١) بناءً على تلك المعلومات كالاتي:

$$(1-E)(\tau)IA_f = (T_i - T_o)(UA + (V/h)C_p) \quad (١١، ١٦)$$

ونجد من الجدول رقم (١) في الملحق (أ) أن:

$$T_o = ٣٥^\circ \text{م} \text{ و } T_w = ٢٤^\circ \text{م}، \text{ ومن الخريطة السيكرومترية } v = ٨٨٨، ٠ / \text{م}^٣ \text{ كجم.}$$

$$\begin{aligned}
 11 &= 1.3, 6 \text{ واط} / (\text{م}^2 \cdot \text{م}^{\circ}) \text{ في حالة استخدام طبقة واحدة من مادة البولي إيثيلين.} \\
 Cp &= 1, 0 \text{ ك. جول} / (\text{كجم} \cdot \text{م}^{\circ}). \\
 F &= 1, 0 \text{ (نسبة امتلاء بالنباتات } 100\%) \\
 E &= 0, 5 \text{ (فرض)} \\
 T &= 0, 88 \text{ (طبقة واحدة)} \\
 &= 0, 79 \text{ (طبقتان).}
 \end{aligned}$$

ونجد بتطبيق المعادلة رقم (١٥, ١١) للحصول على شدة الإشعاع الشمسي أن:

$$I = (0.134 + \sin 79.8) 1088 e^{-0.205/\sin 79.8} = 0.988 \text{ kW/m}^2$$

ونجد أن معدل التهوية واحد (تغير هوائي / دقيقة) يعادل $3600 \text{ م}^3 / \text{دقيقة}$ ؛ نظراً لأن حجم البيت المحمي $3 \times 1200 = 3600 \text{ م}^3$.
ونجد بالتمويض في المعادلة رقم (١٦, ١١) أن:

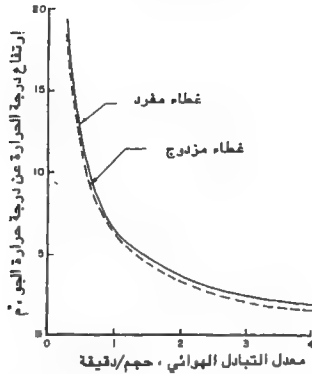
$$(1 - 0.5)(0.88)(0.988)(1200) = \Delta T [(6.3)(1800)/1000 + (3600)(1)/((60)(0.888))]$$

$$\Delta T = 6.6^{\circ}\text{C}$$

ويمكن الحصول على الجدول التالي بتطبيق معدلات أخرى للتهوية في حالة ما إذا كان غطاء البيت المحمي مفرد أو مزدوج.

معدل تغيّر الهواء				
٤	٢	١	٢/١	٤/١
١,٩	٣,٦	٦,٦ م ^٣	١١,٦	١٨,٥
١,٧	٣,٣	٦,٢	١١,٤	١٩,٤
غطاء مفرد				
غطاء مزدوج				

ويوضح الشكل رقم (١١, ٣) النتائج المتحصل عليها. وقد أعطيت أيضاً درجة الحرارة الفعلية الداخلية المتنبأ بها بالإضافة إلى رسم فرق درجات الحرارة. ويوضح هذا الشكل أن إمكانية حدوث ارتفاع في درجات الحرارة الداخلية - عند معدلات تهوية منخفضة - قد تصل إلى 53°م (ارتفاع مقداره 20°م عن درجة حرارة الجو). وقد تكون درجات الحرارة الداخلية المتنبأ بها لمناطق أخرى مختلفة تماماً عما هو موضح في الشكل رقم (١١, ٣). ويرجع السبب في ذلك إلى اختلاف شدة



شكل (١١,٣). ارتفاع درجة الحرارة في بيت محمي مغطى بطبقة واحدة أو طبقتين كدالة في معدل التبادل الهوائي.

الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الصيف التصميمية من منطقة إلى أخرى. ولكن قد تكون الاختلافات في ارتفاع درجة الحرارة عن درجة حرارة الجو من منطقة إلى أخرى طفيفة.

وتوضح المنحنيات وجود فروق طفيفة بين البيوت التي تستخدم طبقة واحدة من غطاء مادة البولي إيثيلين أو طبقتين. ويتج عن معامل النفاذية المرتفع للطاقة الشمسية خلال كل أنواع الأغشية الشائعة الاستخدام حمل تهوية مرتفع في كل البيوت المحمية. ويؤدي خفض معدل التبادل الهوائي إلى أقل قليلاً من ٤/٣ (تغير حجمي في الدقيقة) إلى زيادة نسبية حادة في ارتفاع درجة الحرارة داخل البيت المحمي. كما ينتج عن زيادة سعة التهوية عن واحد (تغير هوائي في الدقيقة) انخفاض بسيط في ارتفاع درجة الحرارة. وتكون سعة التهوية المرغوبة - في هذا المثال بالنسبة لطبقة أو طبقتين من غطاء البيت للمحمي في حالة الإنتاج الكامل - بين ٤/٣ و ١ (تغير هوائي في الدقيقة).

ويكون الهواء الداخلي في حالة استخدام مراوح من النوع الطارد هو الهواء المدفوع بواسطة المراوح بدلاً من الهواء الخارجي، وذلك كما هو أكثر شيوعاً في نظم التهوية في البيوت المحمية. ويكون الحجم النوعي للهواء في تلك الحالة هو الحجم المرتبط بالظروف الداخلية، ولكن قد لا يكون ذلك معلوماً؛ نظراً لأن المطلوب في هذه المسألة التنبؤ بدرجة الحرارة الداخلية. ويتطلب الحل الصحيح لهذا الشرط استخدام أحد الطرق التقريبية الفعالة، بمعنى أن يتم فرض قيمة محددة للحجم النوعي للهواء ثم تُحسب على أساسه درجة الحرارة الداخلية. ولا بد- للحصول على قيمة صحيحة للحجم النوعي- من حساب الزيادة في نسبة الرطوبة باستخدام المعادلة رقم (١٢، ١١).

$$W_{ve} = (V/v)(W_i - W_o)$$

و بفرض قيمة للحجم النوعي $v = 888$ م^٣/كجم) كما في الحسابات السابقة، كما نجد من الخريطة السيكرومترية أن $W_o = 0.103$ (كجم/كجم). وتساوي كمية بخار الماء المتولدة داخل البيت المحمي كمية بخار الماء المتولدة من عملية التسخن والمعرفة بالوحدات الحرارية في المعادلة رقم (٧، ١١). ويتبع عن قسمة هذه المعادلة على الحرارة الكامنة للتبخير (λ) كمية الرطوبة المضافة إلى الهواء داخل البيت المحمي بوحدات كجم/ث.

$$\begin{aligned} (11, 12) \quad W_p = W_{ve} &= (E)(F)(Q_d)/\lambda \\ &= (E)(F)(\tau)(I)(A_f)/\lambda \\ &= (0.5)(1)(0.88)(0.988)(1200)/2423 \\ &= 0.215 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

ونجد عند استخدام المعادلة رقم (١٢، ١١) أن:

$$0.215 = [3600/(60 \times 0.888)](W_i - 0.0153)$$

$$W_i = 0.0185 \text{ kg/kg}$$

ونجد بناءً على هذه القيم المتنبأ بها بالنسبة للظروف الداخلية أن:

$$T_i = 33 + 6.6 = 39.6^\circ \text{C} \text{ and } W_i = 0.0185 \text{ kg/kg}$$

ويكون الحجم النوعي من الخريطة السيكرومترية $v = 913$ م^٣/كجم). ويتبع عن إعادة حسابات (ΔT) باستخدام القيمة الجديدة للحجم النوعي:

$$\Delta T = 6.8^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Error} = 6.8 - 6.6 = 0.2^{\circ}\text{C}$$

ونظراً لصغر قيمة الخطأ، فإنه عادة ما يستخدم الحجم النوعي المرتبط بالظروف التصميمية الخارجية مع كل من نظم التهوية الموجبة والسالبة. كذلك أوضحت الحسابات أن عملية التثح قد أدت إلى زيادة الرطوبة المطلقة للهواء من ٠,١٥٣ إلى ٠,١٨٥ (كجم ماء/ كجم هواء جاف)، وأن الرطوبة النسبية الداخلية المنتجة بها بواسطة الخريطة السيكرومترية كانت ٤٠٪.

تأثير نسبة الامتلاء بالنباتات (Effect of Level of Cropping).

تؤثر نسبة امتلاء البيت المحمي بالنباتات على كمية الطاقة الشمسية المستخدمة في عملية التثح. ويعني ارتفاع معدل التثح زيادة نسبة الحرارة التي استخدمت في تبخير الماء أو الحرارة الكامنة للتبخير، وبالتالي انخفاض نسبة الحرارة المحسوسة المكتسبة والتي تعمل على رفع درجة الحرارة الداخلية. وينعكس هذا التأثير بوضوح على العلاقة الخاصة باللاتزان الحراري، أي المعادلة رقم (١٠، ١١) مع الجزء (F) الذي يمثل نسبة مساحة الأرضية المزروعة بالنباتات.

مثال رقم ٢.

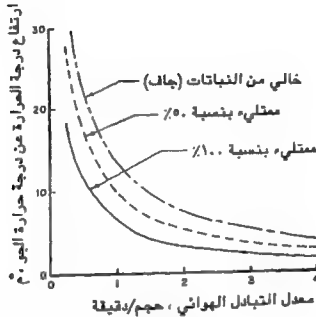
احسب تأثير نسب امتلاء البيت المحمي بالنباتات (١٠٠٪ و ٥٠٪ وصفر٪) على ارتفاع درجة الحرارة الداخلية، علماً بأن كل المعلومات الخاصة بالبيت المحمي تتبع نفس المعلومات في المثال السابق.

الحل.

معادلة الاتزان الحراري لهذا المثال هي :

$$[1 - (E)(F)](t)(A_p) = (T_i - T_o)[UA + (V/v) Cp]$$

ونجد - عند التعويض بقيمة (F) تساوي ٠,١ (امتلاء كل الأرضية بالنباتات) و ٠,٥ (امتلاء نصف الأرضية بالنباتات) وصفر (لا توجد نباتات داخل البيت)، أي أن قيمة التثح صفر (أن الطرف الأيسر من المعادلة يزداد عند نسبة امتلاء ٥٠٪ بمعدل مرة ونصف مرة القيمة في حالة الامتلاء الكامل (١٠٠٪)، كما يزداد الطرف الأيسر عند



شكل (٤، ١١). تأثير نسبة الامتلاء بالنباتات على ارتفاع درجة الحرارة في بيت محمي مهوي.

خلو البيت من النباتات (صفر٪) إلى ضعف القيمة الخاصة في حالة الامتلاء الكامل (١٠٠٪). ويمكن توضيح هذه النتائج كما في الشكل رقم (٤، ١١).

فكما هو واضح، يؤدي انخفاض نسبة امتلاء البيت للمحمي بالنباتات إلى ارتفاع درجة الحرارة المتنبأ بها. فترتفع درجة الحرارة - على سبيل المثال - مع معدل تبادل للهواء واحد (تغير هوائي في الدقيقة) إلى ٦، ٦ و ٩، ٩ و ١٣، ٢ م في حالة ما إذا كانت نسب الامتلاء بالنباتات ١٠٠٪ و ٥٠٪ و صفر٪ على الترتيب، وذلك بفرض جفاف التربة. ويتضح من ذلك تأثير عملية التثح على التبريد أو خفض درجة الحرارة داخل البيت للمحمي.

تأثير خفض شدة الإشعاع الشمسي

(Effect of Reducing the Solar Intensity)

يمكن خفض مستوى أشعة الشمس الساقطة على البيت المحمي باستخدام أغطية توضع على جدران وسقف البيت أو باستخدام أغطية مصنوعة من مواد

مسامية تعمل على تقليل نفاذية الأشعة. وتتغير شدة الإشعاع أيضاً بتدخل ظروف الجو الطبيعية وتغير وضع الشمس. وبصرف النظر عن السبب في خفض شدة الإشعاع الشمسي الداخل إلى البيت المحمي، فإن النتيجة النهائية تكون خفض درجة الحرارة الداخلية، وبناءً عليه خفض معدل التهوية المطلوب عند مستوى تحكم معين في درجة الحرارة.

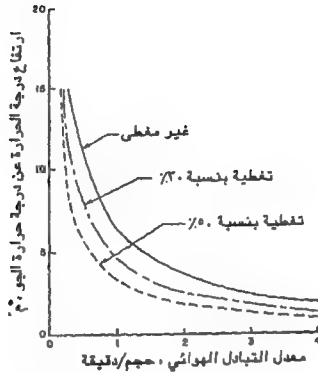
مثال رقم ٣.

احسب تأثير استعمال أغطية تعمل على تقليل نفاذية الإشعاع الشمسي بنسبة ٧٠ و ٥٠٪. افترض أن البيت المحمي مغطى بطبقة واحدة، وأن الظروف التصميمية له تكون نفس الظروف الخاصة بالبيت المحمي في المثال رقم ١.

الحل

يتم في هذه المسألة استخدام نفس المعادلة التي استخدمت في المثال رقم ١. وتكون كل أجزاء المعادلة مثل تلك التي استخدمت في المثال رقم ١ باستثناء معامل النفاذية (τ) الذي يتم تخفيض قيمته الأصلية إلى ٧٠، ٥٠، ٣٠، ٠، بالنسبة لمستوي التظليل على الترتيب. وتكون النتيجة انخفاضاً نسبياً مباشراً في ارتفاع درجة الحرارة عند كل مستوى من مستويات سريان الهواء. ويوضح الشكل رقم (٥، ١١) نتائج استخدام أغطية التظليل.

وكما هو واضح من الشكل، فقد انخفض المستوى المطلوب من سريان الهواء - بالنسبة للتحكم الفعال في درجة الحرارة - من المدى ٤١٣ إلى ١٠، ١ (تغير هوائي في الدقيقة) بالنسبة للبيت المحمي غير المغطى إلى المدى حوالي ٢١١ إلى ٤١٣ (تغير هوائي/دقيقة) في حالة التغطية بنسبة ٥٠٪. كما انخفض أيضاً معدل الارتفاع في درجة الحرارة عند مستوى تهوية ثابت ١٠، ١ (تغير هوائي/دقيقة) من ٦، ٦ إلى ٣، ٣ م.



شكل (١١، ٥). تأثير شدة الإشعاع الشمسي على ارتفاع درجة الحرارة في بيت محمي مهوى.

مخفض درجات حرارة الهواء بالتبريد التبخيري

(Reducing of Air Temperatures by Evaporative Cooling)

قد نحتاج البيوت المحمية في الأمثلة أرقام (١) و (٢) و (٣) إلى نظام تبريد تبخيري إذا كان يصعب احتمال درجات الحرارة المرتفعة المتنبأ بها. وقد يكون لنظم التصميم النموذجية والمقبولة عملياً القدرة على تبريد الهواء الداخل بكفاءة ٨٥٪، أي تبريد ٨٥٪ من الفرق بين درجات الحرارة الجافة والرطوبة للهواء. ويجب أن يكون المبرد التبخيري - منطقة مثل مدينة أطلانتا بولاية جورجيا حيث درجات الحرارة التصميمية الجافة والرطوبة من الجدول رقم (١) في الملحق (أ) ٣٣ و ٢٤ م° على الترتيب - قادراً على تبريد هواء التهوية الداخلي بمقدار ٧، ٦ م° أو إلى ٢٥، ٤ م°. وتكون الرطوبة النسبية للهواء الخارج من المبرد أو من وسائل التبريد حوالي

٩٠٪.

مثال رقم ٤ .

احسب التحسن في درجات الحرارة الداخلية لبيت محمي مهوي عندما يتم تبريد الهواء الداخلي تبخيرياً. افترض أن البيت المحمي مغطى بطبقة واحدة، وأن الظروف التصميمية مثل تلك التي في المثال رقم (١).

الحل

لا بد في هذه المسألة من فصل درجة الحرارة المرتبطة بالحرارة المفقودة بالتوصيل عن درجة الحرارة المرتبطة بالحرارة المفقودة بالتهوية؛ وتصبح المعادلة رقم (١٠، ١١) في هذه الحالة كالآتي:

$$(1-E)(\tau)(I)A_f = UA(Ti - To) + (V/v)(Cp)(Ti - T^{\infty}) \quad (11, 19)$$

حيث:

T^{∞} : درجة حرارة الهواء الخارج من المبرد التبخيري.

وتكون في هذه المسألة $To = 33^{\circ}C$ و $T^{\infty} = 25^{\circ}C$ ، كما تبقى بقية العناصر ثابتة كما تم تحليلها من قبل.

$$(1 - 0.5)(0.88)(0.988)(1200) = [6.3(1800)(Ti - 33)/1000] + [(3600)(1.0)/(60(0.888))](Ti - 25.4)$$

$$Ti = 33.1^{\circ}C$$

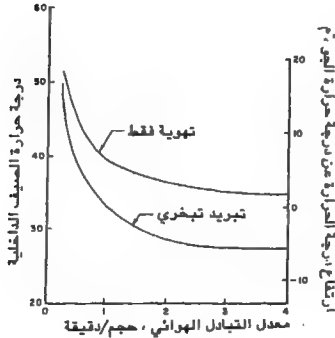
ويستج من تكرار الحسابات مع معدلات تهوية أخرى مختارة درجات الحرارة التالية:

تغيرات هوائية/ دقيقة				
٤	٢	١	١/٢	١/٤
٣٤,٩	٣٦,٦	٣٩,٦	٤٤,٦	٥١,٥
٢٧,٤	٢٨,٢	٣٣,١	٣٩,٦	٤٩,٩

تهوية فقط

تبريد تبخيري

ويوضح الشكل رقم (٦، ١١) النتائج بيانياً. وقد نتج عن استخدام التبريد التبخيري انخفاض في درجة الحرارة الداخلية المتنبأ بها من ٣٩، ٦ إلى ٣٣، ١ م° عندما كان معدل التهوية المستخدم واحداً (تغير هوائي في الدقيقة). وقد كانت درجة الحرارة الداخلية عند استخدام التبريد التبخيري مطابقة تقريباً لدرجة حرارة الجو الخارجية التصميمية، ٣٣ م°. ويمكن حفظ درجة الحرارة الداخلية- عند استخدام معدلات سريان هواء مرتفعة- عند قيم أقل من درجة الحرارة الخارجية. وقد ينخفض العجز أيضاً في ضغط بخار الماء في البيوت المحمية؛ نظراً لتولد نسبة رطوبة مرتفعة من جراء استخدام التبريد التبخيري، وعليه ينخفض الإجهاد المائي على النبات.



شكل (٦، ١١). الانخفاض في درجات الحرارة في بيت محمي مهوى نتيجة استخدام التبريد التبخيري.

متطلبات التهوية في الخريف أو الربيع

(Ventilation Requirement in Fall or Spring)

تنخفض معدلات التهوية في فصل الخريف أو الربيع نتيجة انخفاض درجة حرارة الهواء الخارجية إلى أقل من درجة الحرارة المرغوبة داخل البيت المحمي. وترجع عملية خفض معدل التهوية إلى عدة أسباب. أولاً: انخفاض شدة الإشعاع الشمسي. ثانياً: زيادة كمية الحرارة المفقودة بالتوصيل من مادة الغطاء، وعليه تنخفض كمية الحرارة المطلوب سحبها إلى الخارج. وأخيراً، زيادة كمية الحرارة المسحوبة مع وحدة الحجم من هواء التهوية نتيجة انخفاض درجة حرارة الجو الخارجي. ويمكن عند تحليل هذه المشكلة إيجاد شدة الإشعاع الشمسي في يوم ملائم من أيام الربيع أو الخريف أو الشتاء، ثم حساب معدل التهوية المطلوب لدرجات حرارة خارجية متغيرة.

مثال رقم ٥.

احسب معدل التهوية المطلوب في يوم صحو في منتصف ديسمبر لبيت محمي مغطى بطبقة واحدة ثم طبقتين من مادة البولي إيثيلين. افترض أن البيت المحمي له نفس المواصفات كما في المثال رقم (١)، وأن درجة الحرارة الداخلية المرغوبة ٢٠°م. الحل.

يمكن في هذا المثال تطبيق نفس المعادلة التي استخدمت في المثال رقم (١).

$$(1 - E)(\tau)(I)(A_f) = (T_i - T_o)[UA + (V/v)C_p]$$

نفرض أن الرطوبة النسبية الداخلية ٧٠٪، وأن الحجم النوعي $v = 0.844$ ، وقدم في هذا المثال تحديد الأجزاء الأخرى للمعادلة - كما في المثال رقم (١) - باستثناء شدة الإشعاع الشمسي الذي يمكن حسابه كالآتي:

$$I = (0.057 + \sin 32.8)(1.233) e^{-0.142/\sin 32.8}$$

$$= 0.568 \text{ kW/m}^2$$

ويمكن حساب درجة حرارة الجو الخارجي بالنسبة لطبقة غطاء واحدة ومعدل تهوية ١، ٠ (تغير هوائي في الدقيقة) كالآتي:

$$(1-0.5)(0.88)(0.568)(1200) = (20-T_o)[6.3(1800)/1000 + 3600(1.0)/(60(0.844))]$$

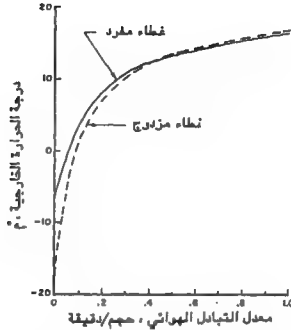
$$T_o = 16.4 \text{ }^\circ\text{C}$$

وبالمثل نجد بالنسبة لمعدلات التهوية الأخرى أن:

تغيرات هوائية/ دقيقة					
١	٢/١	٤/١	٨/١	صفر	
١٦,٤	١٣,٦	٩,٧	٥,٢	٦,٤-	طبقة واحدة
١٦,٦	١٣,٧	٩,٢	٣,٢	١٧,٤-	طبقتان

ويوضح الشكل رقم (١١,٧) النتائج المتحصل عليها بيانياً. ويتضح من الشكل أن معدل التهوية يتناقص سريعاً بانخفاض درجة الحرارة. ويكون البيت المحمي بالنسبة للظروف المقترحة في حالة اتزان حراري عند معدل تهوية صفر ودرجة حرارة خارجية -٦° م بالنسبة لغطاء مكون من طبقة واحدة، و-١٧° م بالنسبة لغطاء مكون من طبقتين.

وقد تم في هذا التحليل فرض معدل تسرب صفر، بينما قد يحدث بعض التسرب الفعلي في بعض التطبيقات. ويمكن إيجاد نقطة التوازن الحراري في حالة فرض معدل تسرب للهواء يعادل أقل معدل تهوية ممكنة. ويكون أقل معدل تبادل هوائي ٠,٢٥° في الدقيقة إذا فرض - على سبيل المثال - معدل تسرب للهواء ١,٥ مرة لكل بيت محمي مغطى بطبقة واحدة. ويوضح الشكل رقم (١١,٧) أن التوازن الحراري قد يحدث بالنسبة لهذا الشرط عند درجة حرارة خارجية -٢° م. وقد لا تستطيع الطاقة الشمسية الداخلة إلى البيت للحمي المحافظة على درجة الحرارة الداخلية المرغوبة إذا كانت درجة حرارة الجو أقل من ذلك المستوى. ولا بد في تلك الحالة من توفير حرارة إضافية عن طريق استخدام أي نظام من نظم التدفئة. ويوضح هذا التحليل أنه قد يتطلب الأمر حتى في الأيام الصافية الباردة في منتصف الشتاء استخدام التهوية للتخلص من الطاقة الشمسية الزائدة.



شكل (١١،٧). متطلبات التهوية الشتوية لبيوت محمية مغطاة بطبقة أو بطبقتين.

الخلاصة

(SUMMARY)

تعتبر الأيام التي يمكن استخدام التهوية الطبيعية سواء للتدفئة أو التبريد إلى المستويات المثلى لنمو النبات قليلة للغاية. وقد تتغير متطلبات بيئة البيت المحمي في يوم شتوي ملبد بالغيوم في جزء منه من التدفئة إلى التبريد خلال دقائق. وقد يؤدي ذلك إلى تعقيد استخدام خصائص التبريد والتهوية والتدفئة عند دراسة معادلات اتزان حرارة-كتلة باستخدام الحواسيب الآلية. وسوف تعتمد نتائج خلاصة أي تحليل اعتماداً كبيراً على الاختيار الملائم للمتغيرات الداخلة إلى الحاسوب الآلي. وكقاعدة عامة، يوصى باستخدام معدلات تهوية بين ٤/٣ و ١٠ (تغير هوائي في الدقيقة). وعادة ما يتيح تلك المعدلات توفير درجة حرارة مقبولة ومستوى جهد تبخيري ملائم للنبات في معظم أيام الصيف. ولكن يمكن الحصول على معلومات

تصميمية أكثر تفصيلاً عن طريق دراسة معادلات ائزان حرارة-كتلة . ويمكن استخدام المعادلات لتحليل الامتخدامات النظرية والتشغيلية بالنسبة للعديد من الأجواء المختلفة في العالم ، خاصة التصميمات الجديدة والمتضمنة استخدام المظلات المحمولة والمواد العازلة .

وقد يساعد فهم الخصائص الطبيعية لأي تصميم أو عملية تشغيل ، من خلال دراسات ائزان كتلة-حرارة ، المصمم أو المشرف على إدارة البيت المحمي على التنبؤ بتتائج التغير . ويتأثر معدل التهوية المطلوب بالعديد من العوامل مثل شدة الإشعاع ونوع مادة الغطاء ومعامل الإمرار الشمسي ونسبة امتلاء البيت للمحمي بالنباتات ودرجة حرارة الجو . ويجب أن تسمح الخطوط العريضة للتحليلات في هذا الفصل بتقدير درجة الحرارة والرطوبة في بيت محمي تحت أي ظروف محددة . وسوف تسمح التحليلات أيضاً بالتنبؤ بالتغيرات التي تحدث في البيت المحمي مع تغير تلك الظروف في المدى المستخدم .

تهوية المنشآت الزراعية

المراجع

- 1 ASHRAE Guide and Data Book Applications. 1978. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineer, New York.
- 2 Duncan, G. A., O. J. Loewer and D. G. Colliver. 1976. Simulation of solar energy availability, utilization and storage in greenhouse. ASAE Paper No. 76-4010, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
- 3 Seginer, I. and N. Vevar. Models as tools in greenhouse climate design Technion-Israel Institute of Technology Agricultural Engineering Station Publication No. 115, Haifa, Israel, February, p. 80.
- 4 Takakura, T., K. A. Jorson and L. L. Boyd. 1971. Dynamic simulation of plant growth and environment in the greenhouse. TRANSACTIONS of the ASAE 14(5):965-971.
- 5 Walker, J. N. 1965. Predicting temperatures in ventilated greenhouses. TRANSACTIONS of the ASAE 8(3):445-448.
- 6 Meyer, R. S. and D. B. Anderson. 1952. Plant physiology (2nd edition) Van Nostrand.
- 7 Walker, J. N. and G. A. Duncan. 1978. Engineering considerations of energy problems in protected cultivation. Acta Horticultura, International Society for Horticultural Science 76:67-76.
- 8 Energy Conservation and Solar Heating for Greenhouses. 1978. Northeast Regional Agricultural Engineering Service.
- 9 Roller, W. L. and D. L. Elwell. 1981. Greenhouse soil heating for improved production and energy conservation. Electric Power Research Institute, Final Report EPRI EA-2022, Sept.
- 10 Morris, L. G., F. E. Neale and J. D. Postlethwaite. The transpiration of glasshouse crops and its relationship to the incoming solar radiation. J. of Ag. Eng. Research 2(2):11-112.
- 11 Walker, J. N. and D. J. Cotter. 1968. Influence of structural features and plant growth on temperatures in greenhouse structures. International Symposium on Glasshouse Environment, Silsoe, England, Acta Horticultura, International Horticultural Society, 6, 26-46.
- 12 Van Wijk, W. R., et al. 1963. Physics of plant environment. Amsterdam: North-Holland Publishing Co.
- 13 American Society of Agricultural Engineers. 1981. Heating, ventilating, and cooling greenhouses. ASAE Engineering Practice: ASAE EP406.
- 14 Bliss, R. W. 1961. Atmospheric radiation near the surface of the ground: A summary for engineers. Journal of Solar Energy Science and Engineering, July-September 5(3):120.
- 15 Walker, J. N. and L. R. Walton. 1971. Effect of condensation of greenhouse heat requirements. TRANSACTIONS of the ASAE 14(2):282-284.
- 16 ASHRAE Guide and Data Book Fundamentals. 1981. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers. New York.
- 17 Bond, T. E., L. C. Godbey and H. F. Zornig. 1977. Solar, long wavelength, and photosynthetic energy transmission of greenhouse covering materials. Proceedings, A Conference on Solar Energy for Heating Greenhouses and Greenhouse-Residential Combinations, Cleveland and Wopster, Ohio, March 20-23, pp. 234-255.
- 18 Badger, P. C. and H. A. Poole. 1979. Conserving energy in Ohio greenhouses. Ohio Agricultural Research and Development Center Ext. Bul. 651, Nov.
- 19 Short, T. H., M. F. Brugger and W. L. Bauerle. 1980. Energy conservation for new and existing commercial greenhouses. Proc. of ASHRAE Symposium on Energy Management and Conservation in Greenhouses, Denver, CO, June 22-26.

نظم التهوية لمنشآت البيوت المحمية*

(VENTILATION SYSTEMS FOR

GREENHOUSE STRUCTURES)

- أساسيات عامة للتجهيزات • نظم التهوية الطاردة
- نظم التهوية الضاغطة • نظم التهوية الطبيعية • تصميم
- نظام تهوية محدد

أساسيات عامة للتجهيزات

(GENERAL EQUIPMENT PRINCIPLES)

إن نظم التهوية المستخدمة في منشآت نمو النباتات - خاصة البيوت المحمية- إما أن تكون تهوية طبيعية أو ميكانيكية . وقد استخدمت غالباً التهوية الطبيعية في البيوت الزجاجية قبل توافر ميزة الأسعار المنخفضة للمراوح . فنجد أن نظم التهوية الطبيعية- سواء اليدوية أو التي تستخدم محركاً كهربائياً مع ألواح تهوية مفصلية عند حافة المنشأة العلوية وأساس الأرضية- تسمح بحركة وتبادل الهواء بواسطة تيارات حمل الهواء في فترات الحر أو عن طريق حركة الهواء نتيجة انحدارات الضغوط المتولدة من الرياح على كل من الحائط الجانبي وسطح المبنى . وتعمل هذه الضغوط على إحداث فروق ضغط تؤدي إلى سريان الهواء .

وتستخدم مع التهوية الميكانيكية - والتي أصبحت واسعة الانتشار في منشآت

* دانتون ج. أ. : جامعة كيتاكي - ليكسنجتون

بيري ر. ل. : جامعة روتجرس - نيوجيرسي

ووكر ج. ن. : جامعة كيتاكي - ليكسنجتون

غمر النباتات حالياً - كل من مراوح وفتحات تحكم في الهواء وحواجز هوائية. ويوضح الشكل رقم (١، ١٢) النظام المستخدم. وتستخدم المراوح لتزويد سريان هواء مدفوع خلال المنشأة مع خلط وتقليب داخلي كاف لتوفير ظروف بيئية منتظمة التوزيع. ويتم التحكم النموذجي في معدل التهوية آلياً باستخدام ثرموستات ومراوح لديها سرعة مفردة مرحلية أو سرعتان لتزويد معدلات مختلفة من سريان الهواء على حسب درجة الحرارة أو أي عوامل أخرى يرجى التحكم فيها.

موضع تركيب وتشغيل تجهيزات التهوية

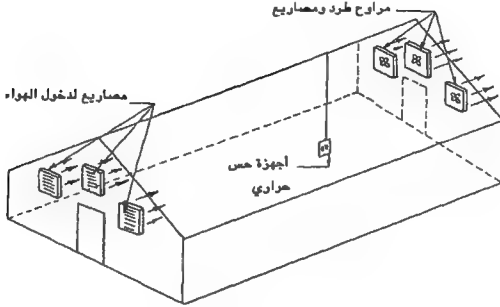
(Ventilation Equipment Location and Operation)

ينبغي عند الرغبة في الحصول على أعلى كفاءة أن يتم تركيب مراوح التهوية وفتحات التحكم في المبنى بحيث يكون سريان الهواء في نفس اتجاه هبوب الرياح الصيفية الخارجية. فتركب مراوح الطرد في حوائط المبنى الجانبية أو النهائية وغير المقابلة لاتجاه الرياح، بينما تتركب فتحات دخول الهواء في الاتجاه المعاكس أو في الحائط الجانبي أو النهائي المقابل، والعكس بالعكس في حالة المراوح من النوع الضاغط.

أما إذا اضطرت الحاجة إلى تركيب المراوح عكس الاتجاه المشار إليه، فإنه يجب زيادة سعة المراوح بحوالي ١٠%^(١)، كما يجب أن تكون محركات المراوح لها ضغط استاتيكي حوالي ٣,٢ م ماء عند أي سرعات رياح متوقعة حتى ٢٥ (كم\ساعة) أو ٦,٤ م ماء بالنسبة للرياح حتى سرعات ٤٣ (كم\ساعة).

ويجب أن تتركب المراوح وفتحات دخول الهواء إلى البيت المحمي عند مستوى أعلى من ارتفاع النبات، وأن يتم توجيه الهواء إلى نظام خلط وتوزيع لتجنب انجراف الهواء مباشرة إلى النبات، والتي قد تسبب ضعفاً في النمو نتيجة للتوزيع غير المتساوي لدرجات الحرارة وكذلك حالات التجفيف الزائدة. ولا تعتبر عملية اختيار ارتفاع مراوح ومصاريع الطرد من العوامل الحرجة^(٢).

ويجب حماية الأجهزة لتوفير الأمان للعاملين وعدم التعرض للإصابة



شكل (١، ١٢). نظام تهوية مبسط يحتوي على مراوح طرد ومصاريع مداخل هوائية

بواسطة الأجزاء المتحركة . ويجب ألا يُعاق عمل الأجهزة بواسطة أبواب أو نباتات أو حتى مبان قريبة في حدود من ٢ إلى ٣ م، أو أي عوائق أخرى يمكن أن تتداخل مع كفاءة حركة الهواء . ويمكن حماية الأجهزة من الأمطار والتقلبات الجوية بواسطة أغطية أو مظلات عند الحاجة لمنع أي تداخل غير مرغوب فيه .

ويجب أن تتركب أجهزة تنظيم درجات الحرارة (الثرموستات) والرطوبة أو أي أجهزة حس أخرى خاصة بالتهوية على مسافة ٣ م على الأقل من الحائط الخارجي، وبالقرب من مستوى نمو النبات بحيث يمكن حس ظروف نمو النبات الفعلية . ولا بد من أن يتوافر بتلك الأجهزة محرك للهواء بعد عنصر الإحساس، وذلك إما بتقليب الهواء طبيعياً خلال المنشأة أو بواسطة تركيب مروحة شفط . ويجب أن تُحجب أجهزة تنظيم درجة الحرارة عن أشعة الشمس المباشرة بواسطة مادة مصنوعة من الألومنيوم أو مادة ذات دهان أبيض، وذلك للحصول على عزل حراري مع وجود حيز هوائي من ٣، ٥، إلى ١ سم بين المادة المعلقة وأجهزة

الحس، أو عن طريق استخدام حاجز خشبي كعازل بسمك ١ إلى ٢ سم، وذلك لتجنب التأثيرات الحرارية المتولدة من الإشعاع الشمسي.

مراحل معدلات التهوية (Staging of Ventilation Rates)

بعد إيجاد معدل التهوية الكلي باستخدام الطرق الموضحة في الفصل ١١، فإنه لا بد عند التخطيط لنظام التهوية من تقسيم هذا المعدل الكلي على مراحل. فغالباً ما يحتاج إلى معدل تهوية منخفض في الجو البارد، وإلى معدلات تهوية مرتفعة في أيام الصيف الحارة. ويعتمد الرقم المحدد لتلك المراحل على الظروف الجوية وحجم المنشأة واقتصاديات استخدام تلك الأجهزة.

و يجب أن تمثل المرحلة الأولى (الأقل) نظرياً حوالي من ١٠ إلى ٢٥٪ من معدل التهوية الكلي لتسمح بالخلط الكاف للهواء البارد الداخل مع الهواء الداخلي الدافئ قبل تلامسه مع النباتات. وعادة ما تستخدم مروحة صغيرة ذات سرعتين بالنسبة للمنشآت الصغيرة ذات مساحة أرضية أقل تقريباً من ١٠٠ م^٢. وتزود المروحة- عند عملها على السرعة المنخفضة- المرحلة الأولى من التهوية. بينما تنجح المروحة المنخفضة التكاليف ذات سرعتين حوالي من ٦٠ إلى ٦٥٪ من سعة المروحة الكلية عند ضبطها على السرعة المنخفضة. وتصمم العديد من المنشآت الزراعية الصغيرة للعمل بمروحة ذات سرعتين فقط لضغط الإنفاق بالرغم من أن ذلك في الغالب ما ينتج عنه توزيع شاذ لدرجات الحرارة داخل المنشأة نتيجة للتغيرات المفاجئة في سريان الهواء. ويعتبر استخدام مروحتين أو أكثر بالنسبة للمنشآت الكبيرة أفضل من الناحية الاقتصادية. وقد تستخدم المراوح الإضافية أو أي أنواع أخرى من المراوح ذات السرعة الواحدة لتوفير السعة القصوى من التهوية الكلية.

ويُقسّم معدل التهوية المتبقى بعد المرحلة الأولى إلى مرحلتين أو عدة مراحل متساوية حتى يتم الوصول إلى أقصى معدل تهوية مطلوب. ويوضح الجدول رقم (١٢، ١) مراحل التهوية لمنشآت نمو النباتات.

جدول (١، ١٢). مراحل التهوية لمنشآت نمو النباتات

مرحلة نهائية	مرحلة متوسطة	مرحلة ثانية	مرحلة أولى	التهوية الكلية المطلوبة (م ^٣ /دقيقة)
%٥٠-٣٧	-	*%٥٠-٣٧	*%٢٥-١٠	٣٤٠٠
%٣٧-٣٠	%٣٧-٣٠	%٢٥-١٠	*%٢٥-١٠	١٧٠٠ - ٣٤٠
-	٣ أو أكثر من المراحل المستوية	-	%٢٥-١٠	١٧٠٠٠
%٣٥-٥٠	%٣٥-٢٥	%٣٥-٢٥	%١٥-١٠	مضروبات كبيرة

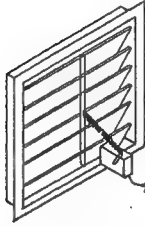
* يمكن استخدام مروحة ذات سرعتين

أنواع وأحجام مداخل الهواء (Air Inlet Types and Sizing)

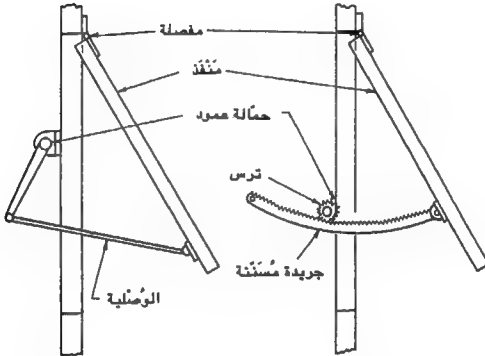
من الضروري التحكم في الهواء عند المداخل لتجنب تيار الهواء المباشر على النباتات. ويمكن الحصول على خلط جيد إذا كانت سرعة الهواء في المدى من ٣, ٣ إلى ٥ (م/ث)^(٥). ويمكن الحصول على تلك السرعات عن طريق تغيير مساحة المدخل عند كل مرحلة من مراحل التهوية. وتحتاج المداخل أيضاً للتوجيه إلى الوضع الصحيح، وذلك لمنع اتجاه تيار الهواء الداخل صوب النباتات وخاصة الحساسية منها، كما يحتاج الهواء الداخل أيضاً إلى تبريده إلى نظم خلط وتوزيع.

وتوجد طريقتان شائعتان الاستخدام بالنسبة للتحكم في مداخل الهواء: (أ) الخواجز ذات المحركات الكهربائية، و(ب) الألواح المفصليّة الأفقية من نوع-شباك.

ويجب عند استخدام الخواجز التي تعمل بالمحركات الكهربائية أن يتوافق حجم المصاريع بانسجام مع عمل المراوح عند كل مرحلة من مراحل التهوية، الشكل رقم (١٢، ٢).



(أ) - مصراع من نوع - الحائط يعمل بالجاذبية أو بمحرك كهربائي



(ب) - ألواح تهوية مفصّلة أفقية من نوع - شبك

شكل (٢، ١٢). نوعان أساسيان من فتحات تحكم يستعملان في البيوت للحمية

وتعمل الحواجز الأفقية بواسطة حامل يتحرك عن طريق محرك كهربائي وترس توجيه- الشكل رقم (٢، ١٢ب)- لفتح على مراحل لمساحة فتحة تتناسب مع عدد المراحل في كل مرحلة من مراحل التهوية، وبحيث يمكن المحافظة على سرعة دخول للهواء في المدى من ٣,٣ إلى ٥ (م/ث).

وتعمل هذه الوحدات على مراحل مماثلة لمراحل المراحل عن طريق استخدام ثرموستات يحس درجة حرارة البيت للمحمى. ويُدار عمود فتح المصاريع باستخدام محرك ذي رأس ترسية. وتتكون وحدة التحكم من مجموعة متوالية من مفاتيح تعمل بواسطة كامات ومُرحلات تتحكم في محرك توجيه النوافذ والمراوح. فيبدأ ثرموستات المرحلة الأولى عند التهوية في تشغيل المحرك الذي يفتح النافذة حتى نهاية المرحلة الأولى. و يوقف المتحكم الذي يحس وضع النافذة محرك سحب النافذة ثم يدير مراوح المرحلة الأولى. ويُدار محرك فتح النافذة مرة أخرى- في حالة طلب ثرموستات المرحلة الثانية تبريداً إضافياً- لفتح النافذة إلى المرحلة التالية ثم بعد ذلك يبدأ في تشغيل المراوح التالية في الترتيب. وتعمل المراحل المتبقية على نفس النمط. وتغلق مراحل استخدام المراوح والنوافذ بالترتيب المعاكس للفتح عندما يبدأ كل ثرموستات في فتح الدوائر الخاصة به.

ويمكن استخدام هذا النظام في البيوت المحمية الصغيرة، ولكن في الغالب ما يستخدم في البيوت ذات الأسطح الجمالونية أو ذات الوصلات المزاوية. ويجب استخدام أكثر من وحدة تحكم بالنسبة للمساحات الكبيرة مع توظيف كل وحدة لمساحة لا تزيد على نصف هكتار.

توزيع وتقليب الهواء (Air Circulation and Distribution)

يعتبر استعمال بعض الوسائل لإحداث حركة وتقليب للهواء خلال المنشأة ضرورياً في الفترات التي لا توجد الحاجة إلى تهوية، أو يُحتاج إلى تهوية ولكن بمعدل منخفض. ويرجع الغرض من ذلك إلى منع تراكم الحرارة والرطوبة أو ثاني أكسيد الكربون. ويُقترح أن تكون أقل سرعة عند وسط نمو النباتات في حدود ٢, ٠ (م/ث)^(١)، كما يجب ألا تزيد السرعة على ١, ٠ (م/ث).

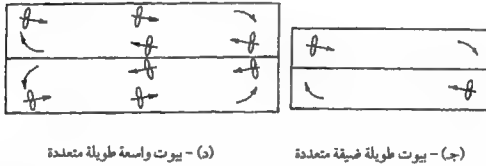
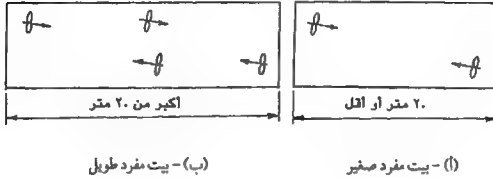
ويمكن استخدام أي من الطريقتين التاليتين لتقليب الهواء: (أ) مروحة تقليب أفقية أو (ب) أنابيب رأسية مثقبة مصنوعة من البلاستيك. ويصرف النظر عن نوع النظام المستخدم، فإنه يوصى بأن تكون سعة المروحة الكلية أكبر ٣٠٪ من حجم المنزل الكلي^(٦).

طريقة تقليب الهواء أفقياً (Horizontal Air Circulation Method)

تتكون طريقة التقليب في اتجاه أفقي من مراوح منخفضة التكاليف ذات دفع مباشر وقطر ٣٨-٦١ سم. ويتم تركيب تلك المراوح عند مستوى محدد فوق المحصول لإحداث حركة وتقليب للهواء. ويتم تشغيل المراوح بواسطة محركات كهربائية صغيرة، كما يتم توزيع عدد من المراوح على أبعاد متساوية فوق المحصول لتطوير نمط تقليب وحركة أفقية للهواء^(٧). ويمكن أن تكون مراوح التقليب هي نفس مراوح وحدات التدفئة أو تجهيزات تدفئة مماثلة تعمل باستمرار مع فرض أنهما من الحجم الكاف.

وتركب المراوح - بالنسبة للبيت المفرد الذي يتراوح طوله من ١٥ إلى ٢٠ م أو أقل - في الأركان ذات المحاور المتقابلة وعلى مسافة حوالي ٣ م من الحائط النهائي وعلى مسافة أيضاً ٤١ عرض البيت من الحائط الجانبي. ويجب أن توجه كل مروحة بطول جانب البيت، كما هو موضح في الشكل رقم (٣، ١١٢). ويجب أن تمال المراوح قليلاً (١٠ إلى ١٥ درجة) ناحية المركز لمنع تولد مناطق ذات حركة هواء منخفضة في منتصف البيت^(٨). ويجب أن تكون المراوح قريبة من السطح وأن تعمل باستمرار بدءاً من فصل الخريف حتى نهاية الربيع ثم تتوقف في الصيف. وتستخدم مروحتان إضافيتان بالنسبة للبيوت الأطول من ١٥ إلى ٢٠ م، وذلك للتأكد من اكتمال تقليب الهواء. ويجب أن تركيب تلك المروحتان في منتصف الطريق بطول البيت وعلى الجوانب المتقابلة، الشكل رقم (٣، ١٢ ب). ويمكن استخدام أزواج من مراوح إضافية للبيوت الطويلة للغاية على أن تكون المسافة بين كل مروحتين متاليتين من ١٥ إلى ٢٠ م.

ويتم عادة تقليب الهواء بالنسبة للبيوت المتلاصقة المتعددة - الاتصال (من الشائع ما يشار إليها بالبيوت المزاربية أو الأخدودية) إلى أسفل أحد البيوت ومنه



شكل (١٢, ٣). ترتيبات نموذجية للمراوح في طريقة تقليب الهواء بواسطة مراوح مائلة أفقيًا (الزاوية من ١٠ إلى ١٥ درجة من الحائط الجانبي).

أعلى البيت المجاور، الشكل رقم (١٢, ٣). وعادة ما يتم تقليب الهواء بالنسبة للبيوت الأخدودية ذات العرض ٧ م أو أكثر من خلال كل بيت على حدة، الشكل رقم (١٢, ٣). ونجد في هذه الحالة أن حركة الهواء في البيوت المتلاصقة تكون في اتجاهات متعكسة بحيث تكون أنماط التدوير في نفس الاتجاه بطول الخط المشترك للدعامات.

وتعتبر طريقة التدوير الأفقية بسيطة من حيث التركيب والتشغيل ولها أفضل أداء مع المنشآت التي تحتوي على نباتات ذات ارتفاعات متوسطة ومنخفضة؛ نظرًا لوجود حيز كاف لتيار الهواء بين المحصول ومسطح المبنى يسمح للخلط والانتشار قبل الوصول إلى أوراق النبات.

الأنابيب البلاستيكية المثقبة العلوية (Overhead Perforated Plastic Tubes)

تعتبر طريقة المروحة المعلقة مع أنبوبة بلاستيكية مثقبة من الطرق المتوافرة تجارياً، حيث يتكون التجهيز من مروحة مركبة في نهاية البيت تدفع هواء من خلال أنبوبة من البولي إيثيلين معلقة بطول البيت، الشكل رقم (٤، ١٢). وتحتوي الأنبوبة على فتحات صغيرة على مسافات متساوية بطول الأنبوبة للسماح بتصرف الهواء إلى حيز البيت المحمي. وعادة ما تتركب المروحة الضاغطة على مسافة تبعد عن الحائط النهائي بمقدار قطر الأنبوبة للسماح بدخول كل من الهواء الداخلي والحرارة للتقليب والتوزيع المستمر. وتتركب المروحة أيضاً على خط الحائط النهائي مع بوابات دخول تعمل بمحرك كهربائي بحيث تفتح هذه البوابات عند تشغيل المرحلة الأولى لطرد غازات العادم، كما تسمح بخلط الهواء الخارجي البارد والمسحوب إلى المروحة مع الهواء الدافئ ثم توزيعه من خلال المبنى. وأحياناً ما تتجمع تجهيزات التدفئة مع المروحة والأنبوبة لتوفير توزيع جيد للحرارة، الشكل رقم (٥، ١٢).

وتتوافر تجارياً ثلاثة أحجام (أقطار) مختلفة للمراوح والأنابيب المثقبة : ٠,٤٦، ٠,٦١، ٠,٧٦ م للقطر. وتكون أطوال الأنابيب متوافرة حتى ٤٥ م تقريباً. (ملحوظة : توجد أيضاً أنابيب ذات أطوال أكبر ولكن تكون سعة التهوية وتوزيع الهواء عامة منخفضة للغاية عند مواجهة أقل المتطلبات).

وعادة ما تستخدم أنبوبة واحدة فقط للحصول على توزيع جيد للهواء بالنسبة للمباني التي يتراوح عرضها من ٧ إلى ٩ م. وتستخدم أنبوتان بالنسبة للمباني الأعرض من ذلك. وعملياً يجب اختيار موضع تركيب الأنبوبة - المفردة بالقرب من مركز المبنى وعلى ارتفاع كافٍ يسمح بحرية حركة للعمال والأجهزة أسفل الأنبوب. ويفضل عند تركيب أنبوتين أن تكون كل أنبوبة على أبعاد متساوية بقدر الإمكان بين الحائط الجانبي ومركز المبنى.

و توضح التوصيات التجارية أنه يمكن زيادة طول الأنبوبة ذات القطر ٠,٤٦ م إلى أقصى قيمة من ٣٦ إلى ٤٠ م، والأنبوبة ذات القطر (٠,٦١ م) من ٤٩ إلى ٥٥ م، والأنبوبة ذات القطر (٠,٧٦ م) من ٦١ إلى ٧٠ م. ولكن يجب استخدام طول للأنبوب يتراوح من نصف إلى ثلثي القيمة القصوى للأطوال. ويرجع السبب في

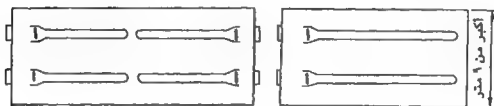


اعتماداً على حجم الأنبوبة

(ب) - بيت مفرد طويل

اعتماداً على حجم الأنبوبة

(أ) - بيت مفرد صغير



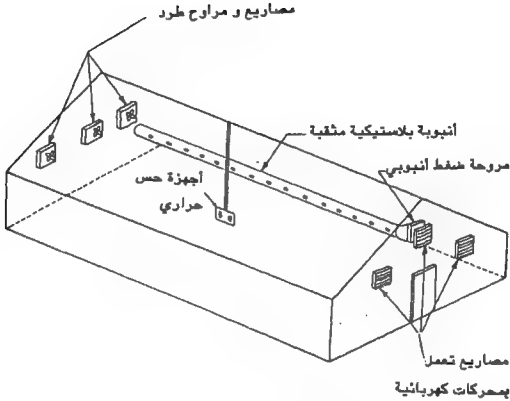
(د) - بيت عرض طويل

(ج) - بيت عرض قصير

شكل (٤، ١٢). ترتيبات نموذجية للأجهزة في طريقة قلب الهواء بواسطة مروحة وأنبوبة بلاستيكية مثقبة.

ذلك للحصول على مستوى قلب للهواء يعادل المستوى الموصى باستخدامه أي ٢٠ إلى ٣٠٪ من حجم البيت^(٦).

و يوضح الجدول رقم (٢، ١٢) أحجام كل من ساعات المروحة - الأنبوبة المستخدمة مع العديد من البيوت، كما يوضح الشكلان رقما (٤، ١٢) و (٥، ١٢) نظم التركيب. فعلى سبيل المثال، قد يتطلب المبنى ٩ × ٣٠ م أنبوبة (٦١، م) ذات طول كامل أو أنبوبيتين (٤٦، م) ذات أنصاف أطوال. ويجب اختيار حجم مرحلة التهوية الأولى مساوياً لسعة الأنبوبة والمروحة بحيث يتم سحب الهواء البارد الداخلة كاملاً إلى الأنبوبة ثم يخلط بواسطة مروحة الأنبوبة.



شكل (٥، ١٢). إضافة مروحة مرتفعة وأنبوب بلاستيكية مثقبة إلى نظام التهوية الطاردة

تجهيزات التبريد التبخيري (Evaporative Cooling Equipment)

دائمًا ما تكون البيوت المحمية دافئة للغاية عند سقوط مستويات مرتفعة من الطاقة الشمسية. فترتفع درجة الحرارة داخل البيت المحمي تحت الظروف الطبيعية في يوم مشمس من أيام الصيف الدافئة عن درجة الحرارة الخارجية. وتعتمد الزيادة في درجة الحرارة الداخلية على درجة الحرارة الخارجية وكمية الطاقة الشمسية الداخلة إلى البيت وكفاءة نظام التهوية ومعدل التهوية. وقد تساعد عملية تظليل البيت على الحد من ارتفاع درجة الحرارة، وذلك بالإقلال من دخول الطاقة الشمسية إلى البيت المحمي. ومع ذلك ترتفع درجة الحرارة الداخلية مع دخول كمية الطاقة

جدول (٢، ١٢). تصنيفات مراوح تجارية نموذجية وأنابيب تقليب هواء بلاستيكية مثقبة وأحجام البيوت المتوافقة*.

عرض المنشأة					
م ٩-٧ (عرض أنبوية)			م ١٢-٩ (عرض أنبويتين)		
تصنيفات تجارية نموذجية			طول كلي نصف طول		
حجم قطر سعة			طول المنشأة بالامتار		
م	(برصة)	م ٣/ دقيقة	١٢-١٥	٢٥-٢٠	١٠-٧
٠, ٤٦	(١٨)	٦٢	١٨-١٤	٣٥-٢٨	١٤-١١
٠, ٤٦	(١٨)	٨٨	٣٠-٢٤	٦١-٤٩	٢٤-١٨
٠, ٦١	(٢٤)	١٥٣	٤٨-٣٩	٧٨-٩٧	٣٩-٢٩
٠, ٦١	(٢٤)	٢٤٢			

* أخذ متوسط ارتفاع المنشأة الداخلي ٢,٧ م بناءً على سعة تقليب مساوية ٢٥٪ من حجم المنشأة. ويتم اختيار حجم الأنبوية الأصغر أو الأكبر بالنسبة لطول منشأة واقع بين قيمتين معلومتين بناءً على ما إذا كانت الرغبة في الحصول على سعة تقليب وكفاءة أعلى أو أقل.

الشمسية المتبقية. ولا بد من استخدام بعض صور التبريد إذا كان الهدف المحافظة على درجات حرارة الصيف الداخلية.

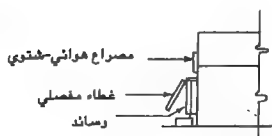
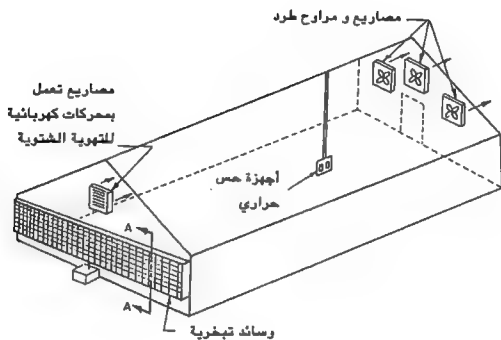
و يجب استخدام نظم تبخير الماء بدلاً من نظم التبريد الميكانيكية (المكيفات) لخفض درجات حرارة البيت المحمي الداخلية. ويرجع السبب في ذلك إلى أنها أكثر ملاءمة من حيث زيادة رطوبة الهواء مع التبريد. وتعتبر الرطوبة مهمة؛ نظرًا لتأثيرها على معدل فقد الماء من النباتات. فيعمل الوسط ذو الرطوبة المرتفعة على تقليل فقد الماء من النباتات وبالتالي تقليل احتمالات الذبول. و يعمل نظام التبريد التبخيري على خفض درجة حرارة الهواء المحسوسة في نفس الوقت الذي يزيد من الرطوبة

باستخدام حرارة الهواء في تبخير الماء. و يناقش الفصل السادس بالتفصيل مفاهيم التبريد التبخيري ومركبات ومتطلبات ذلك النظام.

ومن عيوب التبريد الميكانيكي - مكيفات المساكن العادية- خفض مستويات الرطوبة، كما يعتبر مكلفاً للغاية؛ نظراً لكبير كميات الطاقة الشمسية الداخلة إلى البيت المحمي والواجب إزالتها. ويكون لدى بيت محمي ذي مادة غطاء جيدة ونظيفة القدرة على إمرار حرارة بمعدل حوالي من 63°C إلى 788°C واط/م² من مساحة الأرضية. ويعني ذلك أنه قد يكون المطلوب استخدام واحد طن تبريد ميكانيكي ($3,52$ ك. واط) لكل $4,5$ إلى $5,6$ م² من مساحة الأرضية. وقد يكون المطلوب استخدام واحد طن تبريد لكل 10 إلى 11 م² من مساحة الأرضية في حالة استخدام مركبات تظليل والتي تعمل على خفض إمرار الطاقة الشمسية بنسبة 50% (٨).

و يعتبر نظام التبريد ذو المروحة والوسادة من أكثر نظم التبريد الشائعة الاستخدام، الشكل رقم (٦، ١٢). فيتم تركيب مراوح الطرد مع هذا النوع من النظم على أحد حوائط البيت المحمي، بينما تتركب الوسائد على الحائط المقابل. ويجب اختيار حجم الوسادة بحيث يحتاج إلى واحد متر مربع من المساحة لكل 75 م³ (ث) من سعة المروحة- وذلك في حالة تركيب الوسادة في وضع رأسي- كما يحتاج إلى واحد متر مربع لكل واحد 75 م³ (ث) إذا تم تركيب الوسادة أفقياً. وغالباً ما تكون مادة الوسادة مصنوعة من مزقات طويلة من ألياف الخشب الخشن بسلك 50 إلى 75 م. وتكتسب المواد المعرّجة الجديدة والمعاملة حديثاً بالورق مثل المادة السيليلوزية شعبية؛ نظراً للأداء الأفضل لهذه المواد عند سرعات هواء مرتفعة- واحد متر مربع من مساحة الوسادة لكل $1,25$ إلى $1,75$ م³ (ث)- (وليزيد من المعرفة، انظر الفصل السادس).

وتُحدث مراوح التهوية الطاردة ضغط تفريغ منخفضاً في البيت مما يؤدي إلى دخول الهواء إلى البيت من خلال أي فتحات، متضمنة الشقوق بين الألواح الزجاجية. ونظراً لأن الهواء الداخل من خلال فتحات أو تشققات لا يمر من خلال



قطاع A-A
إنغلاق للوسائد في الشتاء

شكل (٦، ١٢). مراوح طرد ووسادة تبريد على الحائط النهائي

مادة الوسادة، فإنه لن نتحدث لذلك الهواء أي عملية تبريد، وعليه لا بد وأن يكون البيت المحمي في حالة جيدة ومحكم الغلق لزيادة فعالية التبريد التبخيري. ويجب أيضاً تزويد البيت المحمي بأبواب مصنوعة جيداً، وكذلك محكمة الغلق.

ويجب أن تتركب الوسائد مستمرة بطول الحائط مع عدم وجود أي فراغات بين الوسائد. ويفضل أن يكون ارتفاع مستوى قمة الوسادة متناسباً مع ارتفاع سطح قمة النباتات داخل البيت المحمي. ولا يحبد وجود أي ارتخاءات أو ترهلات للوسائد، كما ولا بد من المحافظة على الإبلال الكامل للوسائد (عدم وجود أي بقع جافة). ولا بد أيضاً من توافر وسائل تمنع سريان الهواء من خلال الوسائد في الأجواء الباردة. ويتم ذلك طبيعياً بوضع ألواح تهوية ذات مفصلات على الحائط الجانبي فوق الوسائد بحيث يتم فتح تلك الهوايات يدوياً عند الحاجة إلى تبريد. وعادة ما يتم تغطية هذه الألواح بالزجاج أو بالألياف الزجاجية.

ويمكن تركيب الوسائد خارج الحوائط الجانبية أو النهائية على شكل حائط مستعار يسمح باستخدام الفتحات القياسية الجانبية أو النهائية. ولا بد وأن يكون الخيز بين حائط الوسادة والبيت المحمي محكم الغلق بحيث لا بد وأن يدفع أي هواء إلى البيت المحمي من خلال الوسائد. ومن عيوب هذا الترتيب عدم القدرة على منع مياه الأمطار بعيداً عن الوسائد، والتي بدورها قد تملأ الحوض المائي بكمية أكثر من الواجب. ونظراً لأنه عادة ماتستخدم مواد حافظة في دورة الماء للتحكم في نمو الطحالب على الوسائد، فإن الامتلاء الزائد للحوض المائي قد ينتج عنه فقد لتلك المواد. وفي بعض الأحيان يتم تعليق الوسائد أو تفل قصب السكر ذي الطلاء- الأسمتي أفقياً وملاصقاً للبيت في هيكل ملائم، كما يتم ترطيب الوسائد باستخدام فوهات ترذيد (الفصل السادس). و يسمح بذلك لإتاحة مساحة سطحية أكبر عما هو موجود عند الحوائط النهائية لبعض أنواع المباني. وتوجد مع هذا الترتيب أيضاً مشكلة مياه الأمطار، إلا إذا توافرت حماية لسطح المبنى.

المبرّدات التبخرية ذات الوحدات المتكاملة (Package Unit Evaporative Coolers)

تعتبر وحدات المبرّدات التبخرية المتكاملة من الأنواع المتوافرة تجاريًا، الشكل رقم (١٢، ٧). وتتكون تلك الوحدات من مروحة ضغط مركزي تدفع الهواء إلى البيت المحمي. وتركب خارج المروحة على السياج الخاص بالوحدة وسائد رقيقة. وتوجد مضخة داخل الوحدة تقوم بترذيد الماء على الوسائد. ويتم صرف الماء الزائد إلى قاع الوحدة الذي يعمل كخزان مائي. وتكون سعة الهواء المستخدمة في بعض الوحدات التجارية في الحدود من ٦٢ إلى ٥٩٥ م^٣/دقيقة).

ويعتبر الحصول على توزيع منتظم للهواء البارد المتصرف إلى داخل البيت مشكلة هذه الوحدات. ويتم عادة تركيب تلك الوحدات على جانب أو جوانب البيت المحمي. وكلما كانت تلك الوحدات مركبة بالقرب من بعضها البعض بطول الحائط، كلما كان توزيع الهواء أكثر انتظامًا. ونظرًا لمشاكل توزيع الهواء في البيوت الكبيرة، فإن وحدة التبريد وملحقاتها غالبًا ما تكون محدودة الاستخدام داخل البيوت المحمية الصغيرة وغير المخصصة للإنتاج التجاري.

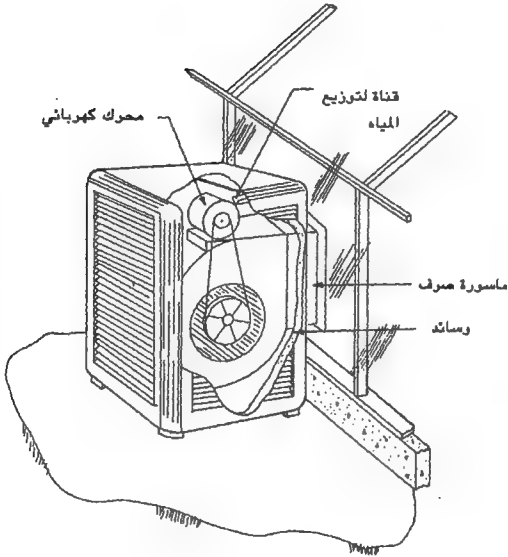
ولابد وأن يحل الهواء البارد الداخل إلى البيت المحمي محل الهواء الموجود فعلاً داخل البيت. وبناءً على ذلك، فإنه من الضروري عمل فتحات أو تركيب مصاريع تعمل بمحركات كهربائية على الحائط الجانبي أو النهائي. ويجب توفير واحد متر مربع من مساحة التهوية لكل ٣,٣ م^٣/ث من سعة المروحة^(٨).

نظم التهوية الطاردة

(EXHAUST VENTILATION SYSTEMS)

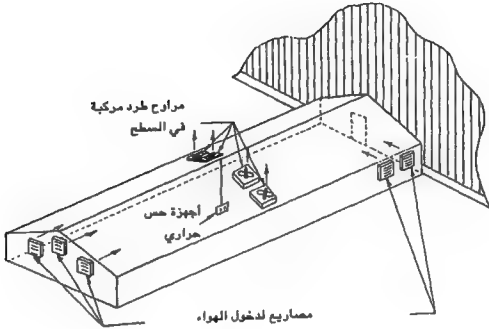
تركيب مراوح الطرد على الحائط النهائي (End Wall Exhaust Fans)

تعتبر عملية تركيب المراوح على أحد الحوائط النهائية للمنشأة ومصاريع مداخل الهواء على الحائط النهائي الآخر - الشكلان رقما (١٢، ١) و(١٢، ٦) - من الطرق الأكثر شيوعًا للتهوية بالنسبة لمنشآت غمر النباتات ذات الأشكال المستطيلة والتي يتراوح طولها من ٣٨ حتى ٤٥ م^(١). ويجب - لو أمكن بالنسبة للبيوت



شكل (١٢,٧). وحدة تبريد تبخيري متكاملة

الطويلة- تركيب المراوح بالقرب من مركز البيت مع وجود مصاريع مداخل الهواء عند كل حائط نهائي، وذلك لتقصير مسافة سريان الهواء بين المداخل والمخارج، الشكل رقم (١٢,٨).



شكل (٨، ١٢). مصاريع طرد مركبة في السقف في مركز منشأة طويلة

وتستخدم مروحتان أو أكثر مع تجهيزات المداخل لتزويد معدل التهوية المرغوب، والسماح بزيادة التهوية على مراحل على حسب الجدول رقم (١، ١٢). ويجب تركيب مروحة ومصراع مدخل المرحلة الأولى على ارتفاع مناسب على الحائط النهائي، كما يجب تركيب المركبات الإضافية مرتفعة بقدر الإمكان وفي الأماكن المتاحة للحفاظ النهائي. ويجب تركيب أجهزة التحكم في درجات الحرارة (الثرموستات) بالقرب من مستوى النبات وبعيداً عن أي تجهيزات أو حركة العاملين وتقريباً في منتصف الطريق بطول البيت.

ويجب أن تتم التوصيلات الكهربائية بحيث تعمل مروحة تهوية المرحلة الأولى لحظياً مع أجهزة مداخل الهواء. ويجب أن تعمل مراوح تهوية المراحل الإضافية والمصاريع بالترتيب - بناءً على مدى ارتفاع درجات الحرارة - عند كل زيادة في درجة الحرارة ١ إلى ٢ °م.

ولا بد من وجود حواجز ضد التيارات الهوائية العكسية تركيب على الجانب الخارجي من مراوح الطرد بحيث تُفتح الحواجز بضغط المروحة أثناء التشغيل وتُغلق بإحكام في حالة عدم التشغيل، وذلك لمنع دخول وتسرب الهواء غير المرغوب. ويجب أن تُغلق بالمثل أجهزة مداخل الهواء عند عدم الاستخدام، وأن تُفتح آلياً عند تشغيل مراوح التهوية. وللتأكد من حدوث تهوية فعالة داخل البيت، فإنه لا بد من منع تسرب الهواء من أي فتحات أخرى بطول الجوانب أو عند نهاية المروحة من البيت.

ونظراً لأن الهواء الداخل من خلال المصراع أو المصاريع في الشتاء غالباً ما يكون بارداً، فإنه يجب حفظ هذا الهواء في الجزء العلوي من البيت حتى يتم الخلط مع هواء البيت المحمي. ويمكن أيضاً استخدام الأنبوبة العلوية المثقبة - والتي تعمل أصلاً على تغليب الهواء - في دفع هواء التهوية البارد إلى البيت المحمي، الشكل رقم (٥، ١٢). ويعطي ميل ريش المصراع في حالة الفتح إلى أعلى دفعة للهواء الداخل إلى أعلى مع تزويد خلط معقول قبل وصول الهواء إلى مستوى النبات.

ويمكن - للحصول على توجيه أفضل للهواء - تركيب حاجز مائل من الألياف الزجاجية أو أي مادة مماثلة عند الحافة السفلى لمقدمة المصراع تعمل على توجيه الهواء إلى أعلى.

تركيب مراوح الطرد على الحوائط الجانبية (Sidewall Exhaust Fans)

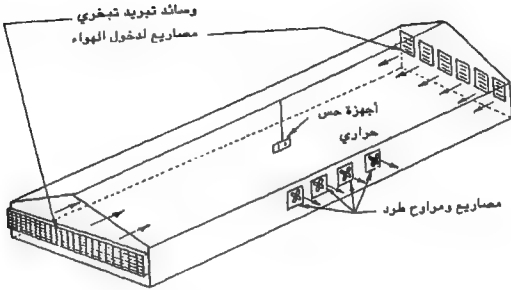
تركب مراوح الطرد في بعض المنشآت الطويلة نسبياً (أطول من ٤٥ م) بطول الحائط الجانبية بدلاً من الحائط النهائي. ويستخدم ذلك الترتيب عند: (أ) تزايد ارتفاع درجة حرارة الهواء بطول المبنى من إحدى النهايات إلى النهاية الأخرى، (ب)

تركيب وسائل التبريد التبخيري بطول أحد الجوانب، و(ج) تقسيم المنشأة إلى أقسام أو حجرات بحيث يتم التحكم في التهوية في كل حجرة على حدة. ويتم تجميع مراوح الطرد مع بعضها البعض عند المركز أو على مسافات بطول الحائط الجانبي بناءً على وجود أي من الحالات السابقة.

ويمكن تجميع المراوح في مركز الحائط الجانبي في حالة استخدام نفس مساحة-مقطع مصاريع مداخل الهواء أو وسائل التبريد على كل من الحائطين النهائيين، الشكل رقم (٩، ١٢). ولابد من فتح أو غلق المصاريع أو وسائل التبريد على فترات متوافقة لتزويد سريان هوائي منتظم. ويمكن التحكم في مداخل الهواء كل على حدة إذا كان من المرغوب الحصول على ظروف مختلفة من درجات الحرارة لكل نصف من المبنى. وترجع نقطة الضعف في هذا الترتيب إلى حدوث سريان هوائي منخفض بطول الحائط الجانبي المواجه للمراوح؛ نظراً لأن الهواء القادم من جهة كل حائط نهائي يميل للانتقال جهة المراوح تاركاً منطقة "هواء ساكن" على الجانب المقابل. ويمكن استخدام مصراع صغير أو اثنين على الحائط الجانبي لتصحيح هذه الحالة.

ويجب عند تركيب وسائل التبريد التبخيري بطول أحد الحوائط الجانبية أن تكون مراوح الطرد مركبة على مسافات منتظمة بطول الحائط المقابل، الشكل رقم (١٠، ١٢). وتعتبر انتظامية تزويد سريان الهواء عبر البيت عند مراحل تهوية متغيرة الصعوبة الأساسية مع هذا الترتيب. فيجب أن تكون المروحة القريبة من المركز هي الأولى في التشغيل مع تشغيل متوال تبادلي من إحدى النهايات إلى النهاية الأخرى، وذلك لموازنة أنماط سريان الهواء. وقد تتولد مناطق هواء ساكنة بين المراوح في حالة ما إذا كانت المسافات بين المراوح وبعضها البعض بطول الحائط كبيرة (كما في حالة استخدام عدد قليل من مراوح كبيرة الحجم). وكقاعدة عامة، يجب أن تكون أقصى مسافة بين كل مروحتين متاليتين بطول الحائط ٨ م أو أقل^(١١).

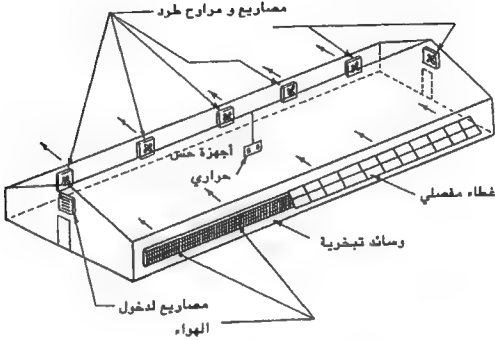
ويعني ذلك، بالنسبة للعديد من المنشآت، الحاجة إلى عدد أكثر من المراوح من الحجم الصغير عند التركيب على الحائط الجانبي بدلاً من الحائط النهائي. وليس من



شكل (٩، ١٢). مراوح طرد مركبة على الحائط الجانبي مع مصاريع مداخل هوائية ووسادة تبريد على الحوائط النهائية.

السهل مع هذا الترتيب استخدام معدلات تهوية منخفضة في الشتاء. أما في حالة ما إذا تُركت فتحة التهوية أو غطاء وسادة التبريد مفتوحين قليلاً في الشتاء- لتخدم كفتحة دخول للهواء- فإن ذلك سوف يؤدي إلى تسرب كبير نسبياً للهواء الخارجي البارد في الأيام العاصفة، وخاصةً إذا كان اتجاه الرياح يأتي من جانب دخول الهواء إلى البيت. ومن الأرجح أن يزيد ذلك من تكاليف طاقة التدفئة، وعليه فإنه يجب استخدام مصراع مع مراوح لتقليب الهواء أفقياً على الحائط النهائي أو استخدام أنبوبة بلاستيكية مثقبة بالنسبة لمراحل التهوية الأولى والثانية في الأجواء الباردة.

وتعتبر التهوية باستخدام الطرد من على الحائط الجانبي ملائمة جداً بالنسبة للمنشآت المقسمة إلى أجزاء، الشكل رقم (١٠، ١٢). ويمكن تحديد حجم المراوح ومصاريع المداخل أو وسائد التبريد بالنسبة لكل جزء ثم التحكم في كل جزء على حدة.



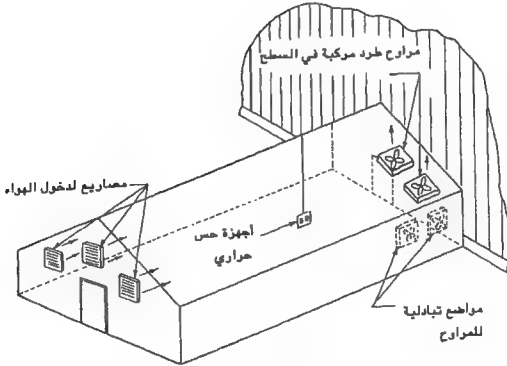
شكل (١٠، ١٢). مراوح طرد مركبة على حائط جانبي ووسادة التبريد على الحائط الجانبي المقابل مع غطاء مفصلي أو مصاريع مناخل هوائية.

ويجب تركيب أجهزة التحكم في درجات الحرارة (الثرموستات) أو أي أجهزة تحكم أخرى بالقرب من مستوى النبات عند منتصف المبنى. ويجب أن تُظلل وتُحمى تلك الأجهزة من أشعة الشمس، وأن تكون بعيدة عن التجهيزات وحركة العاملين كما تم وصفه سابقاً.

مراوح الطرد المعلقة في السطح (Roof-Mounted Exhaust Fans)

تستخدم المراوح المعلقة في سطح البيت عندما توجد إعاقة للحوائط النهائية أو الجانبية بواسطة تجهيزات أو مباني أخرى ملاصقة. ويمكن تركيب تلك المراوح

بالقرب من النهايات، الشكل (١١، ١٢)، أو في مركز المنشأة، الشكل رقم (٨، ١٢). وتستخدم أيضاً المراوح المعلقة في السطح في المنطقة المركزية للمنشأة الطويلة والجمالونية الشكل لتقصير المسافة من المداخل عند النهايات إلى المراوح، وبذلك تتحسن التهوية وتخلص المناطق من تراكم الحرارة.



شكل (١١، ١٢). تركيب مراوح في السطح بالقرب من نهاية منشأة في حالة وجود هوائق عند الحائط النهائي.

وتعتبر المراوح المعلقة في السطح صعبة ومكلفة من حيث التركيب عن الوحدات المتساوية في الحجم والمركبة على الحوائط . وتحتاج تلك المراوح إلى أغطية خاصة لمنع تراكم الثلوج ودخول الأمطار ونجمدها، ولكن سوف تفتح لتشغيل المراوح عند الضرورة . ونتيجة لذلك تستخدم أغطية تعمل آلياً وتحمل تلك الظروف . وقد تتعارض المراوح المعلقة في السطح أيضاً مع الأغطية البلاستيكية المزدوجة الطبقات والمتنفسة والتي دائماً ما تستخدم كأغطية للبيوت المحمية . ويكون أحد حلول هذه المشكلة عن طريق عمل قطاع دائم عبر سطح المنشأة حيث يتم تركيب المراوح . ويمكن أيضاً بناء نوافذ ناتئة من السطح الجمالوني عند تركيب المراوح رأسياً .

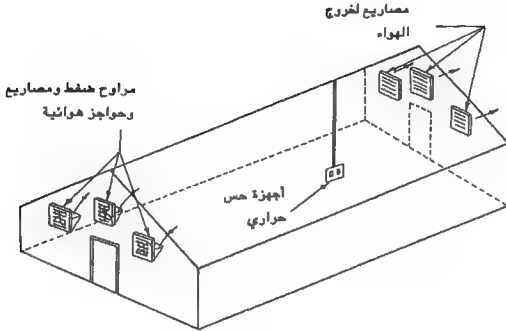
وتركب مصاريع مداخل الهواء مع هذا الترتيب في الحائط النهائي المقابل أو الحائط الجانبى المقابل . ويجب تركيب مصاريع مداخل الهواء في السطح فقط تحت ظروف ضرورية قصوى . وإذا كان ذلك ضرورياً، فإنه يجب بناء نوافذ ناتئة من السطح الجمالوني تمشى مع مصاريع الحوائط لتجنب مشاكل الأمطار والثلوج مع هذه الأجهزة .

نظم التهوية الضاغطة

(PRESSURIZED VENTILATION SYSTEMS)

مراوح الضغط المركبة على الحائط النهائي (Pressure End Wall Fans)

يتكون نظام المراوح الضاغطة والمركبة على الحائط النهائي من مروحة أو أكثر معلقة عند ارتفاع مناسب على الحائط النهائي بحيث تدفع الهواء إلى داخل البيت ، الشكل رقم (١٢، ١٣) . ويُركب مصراع خلف المروحة أو المراوح لمقاومة التيار العكسي ولتجنب سريان الهواء من خلال فتحة المروحة أثناء عدم التشغيل . ويُركب حاجز على قاعدة مقدمة المروحة لتوجيه الهواء إلى أعلى قليلاً، وذلك للتأكد من أن السرعة المرتفعة للهواء والمتولدة من تصرف المراوح لا تصطدم بالنباتات مباشرة . ويجب أن تحتوي المراوح على أغطية لأغراض الحماية من مياه الأمطار ولتجنب



شكل (١٢, ١٣). نظام تهوية باستخدام مراوح موجبة الضغط على الحائط النهائي

التصرف إلى داخل البيت . ويتم طرد الهواء من خلال مصاريع معلقة على الحائط النهائي المقابل أو الحائط الجانبي بحيث تفتح تلك المصاريع عند تشغيل المراوح .

ومن مميزات هذا النظام الاستمرارية في إضافة تهوية فعّالة حتى عند فتح الأبواب أو عند حدوث تسرب للهواء من خلال الغطاء؛ ومن الأمثلة أيضاً، عند بدأ تلف وثنى طبقات البلاستيك أو عند كسر بعض الألواح الزجاجية . وتعتبر وحدات التبريد التبخيري المتكاملة، والتي تدفع الهواء إلى المنشأة نوعاً من أنواع الأنظمة الضاغطة .

ومن عيوب نظام التهوية الضاغطة الحاجة على الأقل إلى ثلث حجم البيت الواقع في منطقة الذروة لأن يكون غير مشغول بالنباتات ليسمح بحيز خلط هواء

التهوية مع هواء البيت الداخلي الواقع خارج حيز النبات، وذلك للحد من مشاكل انجرافات الهواء المحتملة^(٤).

ويمكن تركيب مراوح الضغط والأغطية الملازمة ومصاريح منع التيارات العكسية بالنسبة للمنشآت التي تتراوح أطوالها من ١٥ إلى ٢٠ م تقريباً على أحد الحوائط النهائية (الحائط المقابل لاتجاه الرياح) ومصاريح الطرد ذات الحواجز الآلية على الحائط النهائي المقابل. ويجب تركيب مراوح الضغط بالنسبة للمنشآت الطويلة على كل الحوائط النهائية للمنشأة مع وضع مصاريح الطرد في الجزء الأوسط للحوائط الجانبية. ويجب اختيار حجم مصاريح الطرد لتعمل على تزويد واحد متر مربع لكل ٣,٣ (م^٣/ث).

ويجب تركيب أجهزة التحكم في درجة الحرارة (الثرموستات) بالقرب من مركز البيت أو جهة نهاية طرد الهواء من المنشأة.

ومن الواضح أن وسادة التبريد المألوفة والمركبة على الحائط سوف لا تعمل بكفاءة مع نظام المراوح الضاغطة بدون استعدادات خاصة مسبقة. فقد يكون من الضروري تركيب وسائد التبخير على الحائط الخارجي لحيز محكم الغلق خلف المراوح؛ ولكن لم يعمل هذا النظام بكفاءة في الأماكن التي تمت فيها المحاولة^(٥). ويعتبر التراكم الحراري داخل الحيز بين الوسائد والمروحة إحدى المشاكل الناجمة عن سطوع الشمس على الحيز. وتكمن المشكلة الأخرى في عدم انتظامية توزيع الهواء البارد المتصرف بالمروحة. ففي الغالب ما تتكون بقع داخلية دافئة.

وبالنسبة لتلك الظروف حيث التبريد التبخيري ضروري وضغط التهوية مرغوب؛ فإنه يوصى باستخدام وحدات التبريد التبخيري المتكاملة. ويمكن الحصول على تلك الوحدات وتركيبها في نفس المناطق المرغوبة للمراوح الضاغطة. ونظراً لأنه يمكن التحكم في مضخة الماء في وحدات التبريد عن طريق فصل حركة المضخة عن محرك المروحة، فإنه يمكن استخدام تلك الوحدات لتزويد التهوية بدون تبريد في الأجواء المعتدلة وتزويد التبريد في الأجواء الحارة عند الحاجة.

مراوح الضغط المركبة على الحوائط الجانبية (Pressure Sidewall Fans)

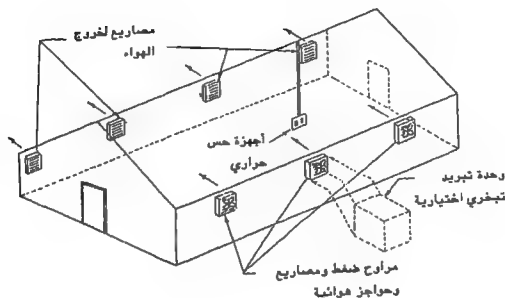
يعتبر نظام المراوح الضاغطة والمركبة على الحوائط الجانبية مائلاً لنظام التركيب على الحائط النهائي الذي سبق وصفه باستثناء تركيب المراوح بطول الحائط الجانبي، الشكل رقم (١٣، ١٢).

ويجب أن تتركب المراوح بطول الحائط الجانبي على مسافات تساوي تقريباً عرض المبنى وعلى ارتفاع مناسب بقدر المستطاع. ولا بد من استخدام حواجز مائلة عند أسفل مقدمة المروحة لتوجيهه تصريف المروحة إلى أعلى وبعبداً عن مستوى النباتات. ويزيد التصميم الجيد لهذا الحاجز من سحب وخلط وتوزيع للهواء بعيداً عن الحيز المشغول بالنباتات، كما يتيح اتساقاً جيداً للظروف خلال حيز نمو النبات. وقد وجد أنه من الضروري أو على الأقل من المرغوب وجود سقف أو سطح داخلي أملس يسمح بالحصول على أقصى اتساق.

ويمكن تركيب مصاريع الطرد على الحائط الجانبي المقابل للحائط الجانبي حيث المراوح مركبة أو يمكن تركيبها على نفس الحائط الجانبي بين المراوح. ويجب أن تتركب أجهزة التحكم في درجة الحرارة (الثرموستات) بالقرب من منتصف البيت عند مستوى النبات كما سبق الوصف.

و يجب أن تعمل المراوح على مراحل بدءاً بالمروحة التي في المنتصف مع مصراع الطرد القريب من الحدود النهائية، ثم التقدم تبادلياً صوب كل نهاية للمنشأة بالنسبة لوضع المراوح والتقدم صوب المركز بالنسبة لوضع المصاريع.

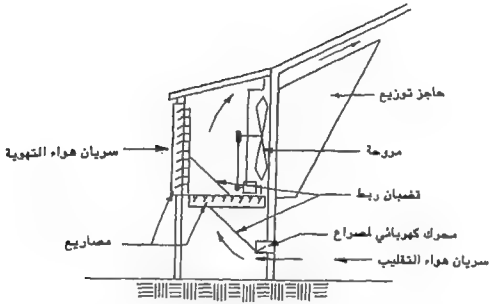
ويمكن استخدام نظام تهوية خاص، الشكل رقم (١٤، ١٢)، لتزويد عملية تقليب للهواء مع نظم الضغط المركبة على الحوائط الجانبية^(١١). وتعمل المروحة التي على الحائط الجانبي على دفع الهواء إلى أعلى صوب النبات ويطول السقف أو على السطح الداخلي الأملس بحيث يحدث توزيع وخلط وتقليل للهواء في نفس الوقت. وتحتوي المنطقة خلف المروحة على مصاريع تحكم هوائي ومسارات بحيث يحدث تقليب بنسبة ١٠٠٪ للهواء الداخلي أو دخول هواء نقي بنسبة ١٠٠٪، والذي يتم الحصول عليه عن طريق الفتح الكامل للمصاريع. ويتيح استخدام محرك كهربائي متغير السرعات وثرموستات من نوع مقياس لفرق الجهد



شكل (١٣، ١٢). نظام تهوية باستخدام مراوح موجبة الضغط على الحائط الجانبي (يوضع إمكانية تركيب وحدة تبريد تبخيري وملحقاتها).

في الحصول على نسب خلط لانهاية لها من الهواء النقي وهواء التقلب بحيث تقع بين القيمتين السابقتين، مما يؤدي إلى استمرارية اتساق تهئة البيئة. فيمكن عندما لا يتطلب الأمر تهوية استخدام مراوح ذات سرعتين أو مراوح متعددة السرعات لتزويد معدلات منخفضة من التقلب المستمر تعادل ٢٠ إلى ٣٠٪ من حجم البيت.

ويجب توفير متر مربع واحد من مساحة الفتحة بين حاجز التوزيع وسطح البيت المحمي لكل ٥ (م^٢/ث) من سعة المروحة، وذلك للحصول على أفضل نسبة خلط. ويجب أن تكون تلك النسبة - بالنسبة لمصاريع الطرد - متراً مربعاً واحداً لكل ٣،٣ (م^٢/ث) من سعة المروحة.



شكل (١٤، ١٢). نظام تهوية-تقلب عن طريق تركيب مروحة-مصرع-حاجز على الحائط الجانبي.

وعامةً يجب تركيب الوحدات على مسافة من الحائط النهائي تعادل تقريباً عرض البيت وعلى مسافات بطول الحائط لا تزيد على ضعف عرض البيت. ويتم اختيار حجم كل وحدة لتغطي معدل التبادل للتهوية المطلوبة لذلك الجزء من البيت. وتعمل نظم الضغط المركبة على الحائط الجانبي بكفاءة بالنسبة للبيوت ذات العرض المفرد مع وجود حوائط جانبية رأسية. ويمكن استخدام تلك النظم أيضاً بكفاءة مع البيوت المقسمة من الداخل إلى حجرات. وتعتبر زيادة عدد الوحدات المطلوبة بالنسبة للمنشآت الكبيرة العيب الرئيسي المرتبط بتلك النظم.

نظم التهوية الطبيعية

(NATURAL VENTILATION SYSTEMS)

تعتمد نظم التهوية الطبيعية على قوة طفو الهواء المسخن في رفع الهواء أو على ضغوط السرعات والقوى الناشئة بواسطة الرياح. فيصبح الهواء عند تمدده نتيجة التسخين بالطاقة الشمسية أو أي مصادر أخرى داخل البيت المحمي أقل كثافة ويرتفع إلى أعلى. وتسمح فتحات الحافة العلوية بتسرب الهواء الدافئ وإحلاله بهواء بارد يدخل من خلال فتحات تهوية جانبية منخفضة. ويعتبر اختيار حجم الفتحات مهماً للغاية إذا أريد الحصول على تهوية فعالة.

وسوف تكون التهوية أكثر فعالية عندما تتولد نسيمات هوائية أو عند هبوب الرياح؛ نظراً لأن ضغوط وقوى السرعة تكون أكبر بكثير من قوى طفو الهواء الساخن. ويوضح الشكل رقم (١٥، ١٢) قوى الضغوط الموجبة والسالبة الواقعة على أسطح مبنى، كما يوضح كذلك أهمية وضع فتحات التهوية على الحائط الجانبي أو الحافة العلوية بالنسبة للتهوية بمساعدة الرياح. وتعمل الضغوط السالبة المتولدة على أجزاء من سطح البيت والحائط الجانبي غير المتقابلين مع الرياح على سحب الهواء من المبنى، بينما يعمل الضغط الموجب المتولد على الأجزاء المقابلة للرياح على تزويد الهواء للداخل.

مُهرَيات الحافة العلوية والحائط الجانبي (Ridge and Sldewall Ventilators)

يجب أن تكون مساحة كل من فتحات الحائط الجانبي وفتحات الحافة العلوية على الأقل ١٥٪ من مساحة الأرضية، وذلك للحصول على تبادل هوائي أمثل مع التهوية الطبيعية. ويوصى باستخدام مساحة تعادل ٣٠٪ من مساحة الأرضية^(١). ويجب أن يكون حجم فتحات الحافة العلوية وفتحات التهوية الجانبية متساوياً تقريباً. ونظرياً يجب أن تُفتح فتحات السطح بحيث تعمل زاوية فتحة السطح عند الفتح الكامل ٦٠ درجة عن الوضع الأفقي للسطح، الشكل رقم (١٦، ١٢)^(١).

ويمكن الحصول على معدلات تهوية كافية مع تحكم جيد في درجة الحرارة للعديد من الأجواء عن طريق اختيار حجم مناسب للسطح والفتحات الجانبية ومع استعمال الضبط الملائم. ويعتبر معدل تبادل الهواء الذي يمكن الحصول عليه في معظم البيوت ذات التهوية الطبيعية دالة في كل من سرعة واتجاه الرياح وموقع وحجم فتحة التهوية، الجدول رقم (١٢، ٣)^(١١). وقد كانت مساحة فتحة التهوية في هذه الدراسة تعادل ٢٧٪ من مساحة الأرضية. وكما هو واضح، فإن معدلات التهوية لا تقترب من المعدل المرغوب (٠,٧٥ إلى ١,٠ تبادل هوائي في الدقيقة) في حالة توافر فتحات السطح فقط، حتى عند سرعات للرياح ١٠ (كم/ ساعة). ويقترب معدل التهوية في اليوم الهاديء إلى ٤١ تبادل هوائياً في الساعة (٦٨، ٠ تبادل هوائي في الدقيقة) في حالة استخدام كل من الفتحة الجانبية وفتحة الحافة العلوية. ويعتبر ذلك أقل طفيفاً من معدل التهوية الطبيعي والموصى باستخدامه.

وكما هو واضح، لا يمكن استخدام التبريد بالوسائد مع تلك النظم. وتوجد أيضاً بعض المشاكل التي تحدث عند هبوب الرياح على مبنى في اتجاه محوري؛ نظراً لدخول الهواء من الفتحات الموجودة عند الحائط النهائي والمواجهة للرياح مع تجمع هواء البيت الحار عند الحائط النهائي الآخر وغير المقابل للرياح. ولا يعتبر ذلك مشكلة كبيرة إذ أن الضبط الملائم لحجم فتحة الهواء عند الجانب المواجه وغير المواجه لاتجاه الرياح.

وتعتبر صعوبة وتكلفة التحكم الآلي في الفتحات العيب الرئيسي في نظام التهوية الطبيعية، وعليه فإنه في الغالب ما يتم التحكم في تلك الفتحات يدوياً. ويعني ذلك وجوب المحافظة والاهتمام اليومي من العاملين على مدار فترة إنتاج المحاصيل. ونجد بالنسبة للعديد من البيوت التي تستخدم الوحدات الميكانيكية أن فتحات الحافة العلوية تُزود بمحرك كهربائي، بينما تعمل الفتحات الجانبية يدوياً عندما يكون الحد الأقصى من التهوية هو المطلوب.

جدول (١٢، ٣). تأثير سرعة الرياح ووضع المهوّات على تبادل الهواء في البيت المحمي

التبادل الهوائي في الساعة	سرعة الرياح كم/ساعة	وضع المهوّاة أجناب سطح
٢,٩	٢١,٦	مقفول
٩,١	٢١,٤	مقفول
١٤,٠	٤,٣	مقفول
٢٠,٠	٩,٧	مقفول
٣٤,٠	١٠,٥	مقفول
٤١,٠	٢,٣	مفتوح
٤٥,٠	٣,١	مفتوح

وقد يحدث نتيجة أعطال ميكانيكية تلف إنشائي (كسر زجاجي مثلاً) راجع من استمرار دوران بعض أجزاء الوحدة بينما بقية الأجزاء لاتعمل، وعلى ذلك تعتبر مراجعات الأمان أمراً حيوياً. ولاتعمل نظم تشغيل فتحات التهوية بكفاءة مع البيوت المشيئة من الخشب.

تصميم نظام تهوية محدّد

(DESIGN OF SPECIFIC VENTILATION SYSTEM)

يتضمن تصميم نظام تهوية أربع وظائف: إيجاد معدل التبادل الهوائي (سعة المروحة) (الفصل الحادي عشر)، اختيار وتصميم نظام توزيع الهواء (الفصل الثاني عشر)، اختيار المركبات الخاصة بنظام توزيع ومعاملة الهواء (الفصلان الرابع والثاني عشر)، واختيار أجهزة وأدوات التحكم الملائمة للتهوية (الفصلان الرابع والثاني عشر). ولابد وأن تجمع وتركب مركبات النظام مع الأساسيات المسرودة في هذا

الكتاب؛ ولكن لا بد أيضاً من الأخذ في الاعتبار للمتطلبات الفريدة الخاصة بالمركبات المختارة .

و يجب - بمجرد التصميم لنظام التهوية - عمل عقد توريد وتركيب مع ممثل أو بائع لمركبات النظام . ويجب الحصول على المطبوعات والأدلة الخاصة بالأجهزة عند الضرورة . ويجب أيضاً عند اختيار مركبات النظام الأخذ في الاعتبار المدى توافر أجزاء الإصلاح والخدمة .

المراجع

References

- 1 ASAE Engineering Practice. 1961. Heating, ventilating and cooling greenhouses. ASAE EP406, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
- 2 National Greenhouse Manufacturers Association. 1962. Standards for ventilating and cooling greenhouses. The Exchange. July.
- 3 Augsburg, N. D., H. R. Bohanon, and J. L. Calhoun. 1970. The greenhouse climate control handbook. Acme Engineering and Manufacturing Corp., Muskogee, OK.
- 4 Walker, J. N. and G. A. Duncan. 1974. Greenhouse ventilation systems. Cooperative Extension Service, AEN-30, University of Kentucky, College of Agriculture, Lexington, April.
- 5 Roberts, W. J. and R. Cheney. A greenhouse vent controller. ASAE Paper No. 74-4033, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
- 6 Walker, J. N. and G. A. Duncan. 1975. Air circulation in greenhouses. Cooperative Extension Service, AEN-18, University of Kentucky, College of Agriculture, Lexington, December.
- 7 Kothe, J. S. 1967. Air movement within greenhouses. Proceedings of Greenhouse Construction and Environmental Control Seminar, U. of Mass., Amherst, January.
- 8 Walker, J. N. and G. A. Duncan. 1974. Cooling greenhouses. Cooperative Extension Service, AEN-28, University of Kentucky, College of Agriculture, Lexington, March.
- 9 Walker, J. N. and D. J. Cotter. 1968. Cooling of greenhouses with various water evaporation systems. TRANSACTIONS of the ASAE 11(1):116-119.
- 10 Walker, J. N. and D. J. Cotter. 1968. Ventilation de mouvement de l'air dans les serres. IV^e Congrès International du Chauffage et de la Climatisation, 9 rue La Perouse, Paris-16^e; Industries Thermiques Et Aérodynamiques. No. 689, pp. 695-704. Décembre.
- 11 Whittle, R. M. and W. J. C. Lawrence. 1960. The climatology of glasshouses, 11. Ventilation. J. Agric. Engng. Res. 5(1):36-41.
- 12 Roberts, W. J. 1969. Heating and ventilating greenhouses. Cooperative Extension Service, Cook College, Rutgers University, New Brunswick, New Jersey, August.

تهوية مخازن المحاصيل البستانية*

(VENTILATION FOR HORTICULTURAL
CROP STORAGE)

- التنفس • التتح • معاملات التتح المتحصل عليها من الأبحاث • اعتبارات معاملة الهواء • تطبيقات عملية على تصميم نظام تهوية • مثال عن نظام تهوية الكرنب • مثال عن نظام تهوية البطاطس

يُخزّن العديد من المنتجات الزراعية بعد الحصاد لأوقات متفاوتة . ويتغير مستوى التحكم البيئي الواجب توافره أثناء فترة التخزين للمحافظة على جودة مقبولة للمنتج تغيراً كبيراً . ويتطلب بعض المنتجات مستويات مرتفعة للغاية من تهئية البيئة والتي قد تملي إجراء عملية تبريد أو التحكم في جوال التخزين . والتخزين في حد ذاته خارج نقاش هذا الفصل . وبالمثل لم يتم تغطية تخزين محاصيل الحبوب حيث يعتبر تخفيف المحصول المشكلة التصميمية الأولى . ولكن يوجد العديد من محاصيل الغذاء التي تحصد في نهاية الصيف أو بداية الخريف حيث درجات حرارة التبريد هي الأكثر شيوعاً ، ومنها البطاطس والكرنب والبصل التي يمكن تخزينها بكفاءة وأمان في مخازن مهواة . وتعرف المخازن المهواة على أنها المنشآت التي تُدفع فيها اختياريًا

* دينيس إي . بافينجتون : جامعة فلوريدا - جينسفل

لويس د . أولبرايت : جامعة كورنيل - آثاكا

طودهير ك . ساستري : جامعة ولاية بنسلفانيا

لويس أ . متشابر : مركز خدمة الأبحاث الزراعية - وزارة الزراعة الأمريكية

رونالد دب . فيري : جامعة كورنيل - آثاكا

درجة حرارة الهواء الخارجية إلى حيز التخزين عندما يكون كل من درجة حرارة الجو الخارجي والرطوبة في المدى المرغوب.

ويتضمن هذا الفصل تحديدًا مناقشات عن التنفس والتجفيف وقيمًا جدولية عن حرارة تنفس الفاكهة والخضرة عند درجات حرارة متعددة وقيمًا جدولية عن ظروف التخزين الموصى باستخدامها وبيانات عن خواص التخزين ومناقشة عن الاعتبارات الخاصة بمعاملة الهواء، وأخيرًا أمثلة توضح الخطوات والاعتبارات التصميمية لنظم التهوية. وتوجد أيضًا أمثلة عن تخزين الكرنب والبطاطس الأيرلندي.

وتُحظى المحافظة على جودة المنتج في مخازن الفاكهة والخضرة الطازجة بأكثر وأعظم اهتمام. ولا بد أيضًا ملاحظة أن تلك السلع - حتى بعد الحصاد - لا تزال حية ومستمرة في العمليات الكيميائية المرتبطة بخصائص تنفس كل الكائنات الحية. ولقد أصبح من الضروري توفير بيئة تخزين ملائمة لزيادة فترة التخزين مع المحافظة على جودة الخضرة والفاكهة والعمليات الحية. وتستهلك تلك العمليات الحية بانتظام السلعة المخزنة، كما قد يحدث وقف لكل الوظائف الفسيولوجية. ويعتبر توفير بيئة تساعد على أقل معدل من التفاعلات الكيميائية للمحافظة على المادة المخزنة حية بدون إحداث أي تلف أو التعجيل بفساد السلعة من الحلول المفضلة. وتتضمن التهوية الكاملة للبيئة التحكم في كل من درجة الحرارة والرطوبة والضغط وثنائي أكسيد الكربون والأوكسجين. ولكن لا بد وأن يكون مستوى التحكم المتحصل عليه كافيًا للمحافظة على حالة من الاستقرار أو الخمول، وذلك للحد من التغيرات الفسيولوجية أثناء فترة التخزين. ويمكن تبرير الاستخدام لتحكم بيئي متكامل بالنسبة لبعض المحاصيل خاصة الحساسية منها أو الضعيفة.

وتساهم الأوبئة والعديد من الكائنات الحية الدقيقة أيضًا في عدم القدرة على التحكم في جودة المنتج المخزن خاصة إذا لم تتم عملية فحص دوري للمنتج. فيمكن - بالنسبة للحبوب - أن تساعد المحتويات الرطوبة المنخفضة مع درجات حرارة باردة على التحكم في نمو الحشرات والكائنات الدقيقة. ولكن لا بد من بقاء الرطوبة مرتفعة بالنسبة للعديد من المحاصيل البستانية، وذلك لمنع حدوث الجفاف.

ويمكن استخدام العديد من الأبخرة والمبيدات الحشرية في حالات محددة عندما تكون مستويات الرطوبة والحرارة المنخفضة غير مرغوبة.

وتتأثر الظروف البيئية داخل مخزن منتجات تهوية بعدة عوامل: (أ) الظروف الجوية الخارجية؛ (ب) إنشاءات المبنى؛ (ج) نظم التحكم البيئي خلال المبنى؛ و(د) الحرارة والرطوبة والأبخرة المتولدة من المنتج المخزن. ويحتاج المهندس عند تصميم نظم تهوية البيئة لمنتج مخزن إلى تقديرات لمتطلبات محددة لكل سلعة مطلوب تخزينها.

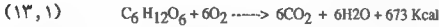
وتتضمن البيانات الرئيسية المطلوبة لتصميم مخازن سلعية كلاً من درجة حرارة التخزين والرطوبة وتركيب الهواء ومعدلات التهوية. ويحتاج أيضاً معرفة معدلات النتج والتنفس لكل سلعة كدالة في ظروف التخزين البيئية وخصائص كل منتج على حدة. وغالباً ما تحتاج الزراعات المختلفة حتى ولو كانت لنفس المحصول إلى متطلبات مختلفة، وهكذا. وكفاعدة عامة، يُفضل قبل تحديد نظام التخزين أن تتم المراجعة مع وكالات الإرشاد التعاونية المحلية للحصول على المتطلبات الدقيقة بالنسبة لمكان وكل محصول مطلوب تخزينه.

ويعتبر كل من التنفس والنتج من العوامل الأساسية لتحديد جودة منتج من الفاكهة أو الخضضر بعد فترات تخزين محددة، وذلك بفرض أن المنتجات المخزنة خالية نسبياً من أية خدوش سطحية أو كدمات أو أمراض أو أي نوع من أنواع الفساد التي قد تساعد على انتشار الكائنات العضوية المتعفنة خلال كل المنتجات المخزنة. وقد تزيد كل من الخدوش السطحية والكدمات والاحتكاكات من فقد الرطوبة من المنتجات حتى ٤٠٠٪ بالمقارنة بالمنتج غير المعاب. وغالباً ما تحدث التلفيات السطحية نتيجة خطأ ما في عملية الحصاد أو في نظم المعاملة والنقل. ونجد أن التنفس والنتج مع الحمل الحراري الحفلي من العوامل الأساسية التي تؤثر على الحمل الحراري داخل نظام تخزيني تبريدي.

التنفس

(RESPIRATION)

يعتبر التنفس من أكثر العمليات الكيميائية أهميةً للمنتج بعد الحصاد . والتنفس عبارة عن تفاعل كيميائي حيث تتأكسد هيدروكربونات (سكريات) أنسجة المنتجات بواسطة الأكسجين من الوسط المحيط لإنتاج منتجات متحللة، والتي يتبعها في الحقيقة التحول إلى غاز ثاني أكسيد الكربون وماء . ويكون التفاعل الكيميائي المبسط والمتزن للتنفس كالآتي :



ويعتبر التنفس عملية أكسوثيرميك (exothermic) ، أي مصحوبة بإطلاق حرارة، وتعني أن الطاقة تتسرب في صورتها الحرارية عند حدوث التفاعلات . وتمثل الحرارة المتسربة والمتولدة من عمليات التنفس جزءاً من الطاقة الأصلية المخزنة في النبات أثناء عملية البناء الضوئي^(١) . وكلما زادت سرعة التفاعل، كلما زادت كمية الحرارة المتولدة لوحدة الزمن . ويتغير معدل التفاعل بتغير نوع المنتجات المخزنة، ولكنه يتأثر أساساً بدرجة حرارة المنتج . ويحتوي الجدول رقم (١، ١٣) على معدلات تقريبية لحرارة التنفس بالنسبة للعديد من الفاكهة والخضر عند درجات حرارة تخزين متغيرة^(٢) .

ودائماً ما يحتفظ بالمنتجات الزراعية المخزنة في حالة فعالة، وهكذا فالتنفس عبارة عن عملية فيسيولوجية مستمرة لا بد من أخذها في الاعتبار عند تصميم المخازن . ولا بد من توافر بعض الأكسجين الجوي وإزالة كل من الحرارة والماء وثاني أكسيد الكربون المتكون . ويتوقع أيضاً تغيرات أخرى؛ فغالباً ما تتضمن التغيرات الكيميائية فعلاً إنزيمياً (خميراً) . ويعتبر العديد من هذه التغيرات الإنزيمية - مثل تحولات الدهون والكربوهيدرات إلى نواتج نهائية من الأيض - تغيرات غير مرغوب فيها . وقد يكون من المرغوب بعد فترات محددة حدوث تغيرات محددة للإنزيمات . ومن أمثلة ذلك، التغيرات الهرمونية لبذور البطاطس التي تساعد على شطأة البذرة في الوقت المناسب . ولكن يعتبر الميل إلى الشطأ قبل ميعاد الإنبات أمراً غير مرغوب فيه، ولا بد للمحصول وأن يكون في حالة سكون حتى تثبط عملية الشطأ .

جدول (١, ١٣). حرارة التنفس الخاصة بالخضرو والفاكهة الطازجة عند درجات حرارة متغيرة^{٢)}

السلعة	جول/ (كجم. ساعة) عند درجة الحرارة الموضحة				
	صفر م	٥ م	١٥ م	٢٠ م	٢٥ م
نفاخ	٢٤ - ٢٤	٧٨ - ٥٣	٣٢٩ - ١٤٥	٣٧٣ - ١٧٩	-
شمش	-	٤٠٢ - ٧٨	٧٣٢ - ٤٠٢	١٣٣٠ - ٦٤٠	-
خرشوف	٤٨٠ - ٢٦٧	٦٤٠ - ٣٧٣	١٥٥٠ - ١٠١٠	٢٤٩٠ - ١٤٦٠	٣٢٠٣ - ١٤٦٠
الهلين	٦٤٠ - ٣٠٠	١١١٩ - ٦٣٠	٢٥٠٠ - ١٢٤٠	٢٨٧٠ - ١٨٦٠	٥٠٧٠ - ٩٦٠
الأفوكاتو	-	٣٢٠ - ٢١٣	١٦٧٠ - ٦٥٩	٣٧٠٠ - ٧٨٥	٤٥٦٠ - ١٢٥٠
موز، أخضر	-	-	٢٤٧ - ٢٣٣	٣٦٨ - ٣٤٩	-
موز، ناضج	-	-	٨٠٠ - ٢٦٧	١٥١٠ - ٣٤٩	٢٦٢٠ - ٥٣٣
فاصوليا	٣٢٠ - ١١١	٣٨٣ - ٢٠٨	١٣٢٠ - ١٠٧٠	١٩٠٢ - ١٤١٠	-
فاصوليا مقشرة	٣٧٣ - ١٨٩	٦٤٩ - ٣١٠	-	٢٨٣٠ - ٢٥٠	-
بنجر	١٣١	١٩٩	٣٤٩	-	-
توت :					
توت أسود	٢٠٨ - ١٨٦	٤٣٦ - ٣٣٤	-	٢٠٥٠ - ١٦٦٠	-
توت كركي	٣٤ - ٢٩	٤٨ - ٤٤	-	١٩٤ - ١١٦	-
المشمش	٩٢ - ٧٣	١٤٥ - ١٣١	٣٤٤ - ٢٣٣	-	-
توت العليق	٢٦٧ - ١٨٩	٤١٢ - ٣٢٩	١٠٨٠ - ٨٧٧	-	-
فراولة	١٨٩ - ١٣١	٣٥٤ - ١٧٤	٩٨٤ - ٧٥٦	٢٠٩٠ - ١٠٩٠	٢٢٠٥ - ١٨٠٠
بركولي	٢٢٨ - ١٩٩	١٧١٠ - ٣٦٨	٣٦٢٠ - ١٨٥٠	٣٦٣٠ - ٢٩٧٠	٩٣٨٠ - ٩٧٠

تابع جدول (١، ١٣).

السلعة	صفر/م	٥/م	١٥/م	٢٠/م	٢٥/م
الكرونب المسلوقة	٣٢٠-١٠٧	٥١٤-٢٣٣	١٤٥٠-٦٨٣	١٨٣٠-٩١٦	-
كرونب	٦٨-٤٨	١٣١-٨٢	٢٧٦-١٩٩	٥٢٣-٢٩٦	٦٧٨-٥١٨
جزر	٢١٨-١٠٢	٢٨١-١٣٦	٥٧٢-٢٧٦	١٠١٠-٤٨٩	-
قرنبيط	٢٠٤-١٧٤	٢٣٣-٢٠٤	٥٢٣-٤٥٥	٩١٦-٨٠٠	١٤٩٠-٨٩٦
الكرفس	٧٨	١١٦	٣٩٧	٦٨٨	-
الكرازة، حامض	١٤١-٦٣	١٤١-١٣٦	٥٢٣-٢٩١	٥٢٣-٤١٧	٧٥٦-٥٦٧
الكرازة، حلو	٥٨-٤٤	١٥٠-١٠٢	٤٨٠-٢٦٧	٣٣٩-٣٠٠	-
الليمون:					
الليمون الهندي	-	٦٣-٣٤	١٩٤-١٠٧	٢٧٦-١٣٦	٢٠٤
(أو الجريب فروت)					
ليمون حامض	٤٤-٢٤	٩٢-٢٩	٢٤٢-١١١	٢٧١-١٩٩	٣٠٠-٢١٨
الليم، فارس	-	٦٣-١٥	١١١-٦٣	١٩٩-٧٣	٤٨٥-١٦٠
برتقال	٥٣-١٩	٧٨-٣٩	٢٥٢-١٣٦	٣٦٣-٢٣٧	٤٣١-٢٦٣
ذرة، حلوة	٥٤٨-٣٢٠	٨٨٧-٤٥٥	١٨٦٠-١٦١٠	٣٣١٠-٢٨٦٠	٤٤٠-٣٠٠٠
خيار	-	-	٣٥٤-١٦٠	٥١٤-١٥٠	٥٨٦-٢٠٤
تين، طازج	-	١٤١-١١٦	٦٧٤-٥٢٣	١٠١٠-٦٠٦	١١٣٠-٩٠٦
ثوم	١٥٠-٤٤	٣٥٤-٩٧	٣١٠-١٥٠	٢٦٧-١٤١	-
عنب أمريكي	٢٩	٥٨	١٧٠	٣٤٩	٤١٢
عنب، فينيرا	٢٤-١٥	٦٣-٣٤	١٢٦-١٠٧	-	٣٢٠-٢٦٧

تابع جدول (١, ١٣).

السلعة	جول/ (كجم . ساعة) عند درجة الحرارة الموضحة				
	صفر م	٥ م	١٥ م	٢٠ م	٢٥ م
الكرات	١٧٩-١٠٢	٣١٠-٢٠٨	١٢٥٠-٨٨٢	-	١٢٦٠-١١٤٠
خس، رأس	١٧٩-٦٣	٢١٣-١٤١	٤٨٠-٣٣٩	٦٤٠-٥٤٣	٩٧٤-٧٨٠
خس، ورق	٢٩١-٢٠٤	٣٦٨-٢٥٧	٧٩٠-٥٤٨	١٢٦٠-٨٧٧	١٨٤٠-١٢٨٠
مانجو	-	٢٣٣-١٠٧	٤٨٠	١٦١٠-٨٠٠	١٢٨٠
بطيخ :					
كتالوب	٦٣-٥٣	١٠٧-٩٢	٤١٢-٣٥٩	٦٨٨-٤٧٥	٧٦١-٦٦٤
عرق العسل	-	٥٣-٣٤	١٧٠-١٢٦	٢٨٦-٢١٣	٣٦٨-٢٨١
البطيخ الاحمر	-	٤٤-٣٤	-	٣٣٧٠-٢٨١٠	-
عيش الغراب	٤٦٥-٣٠	٧٥٦	-	٣٣٧٠-٢٨١٠	-
بصل، جاف	٣٤-٢٩	٣٩-٣٤	١٢١-١١١	٢٠٤-١٥٠	٣١٠-٢٩١
بصل، أخضر	٢٣٧-١١١	٧٢٧-١٨٤	١٠٤٠-٧٠٣	١٦٦٠-٨٣٨	٢٢٣٠-١٠٤٠
البامية	-	٦٢٥-٥٦٢	١٦٣٠-١٤٧٠	٢٩٢٠-٢٦٤٠	٣٨٦٠-٣٤٩٠
زيتون	-	-	٤١٧-٢٣٣	٥٢٣-٣٩٢	٦٤٩-٤٣٦
البيبا	-	٦٣-٤٤	٢٣٣-١٦٠	-	٩٤٠-٤١٧
الجزر الأبيض	١٦٥-١٢٦	١٨٩-٩٢	٤٥٥-٣٤٤	-	-
خوخ	٦٨-٤٤	٩٧-٦٨	٤٥١-٣٥٤	١٠٩٠-٦٣٠	١٣٠٠-٨٦٧
كمثرى ، بارتلت	٧٣-٣٤	١٠٧-٥٣	٦٤٠-١٦٠	٧٤٦-٣٢٠	-
كمثرى ، كيفر	٢٤-١٩	-	٢٥٧-١١٦	٢٩٦-١٦٥	٣٠٥-٢٠٨

تابع جدول (١، ١٣).

جول/ (كجم . ساعة) عند درجة الحرارة الموضحة					
السلعة	صفر م	٥ م	١٥ م	٢٠ م	٢٥ م
بصلة خضراء ، قرون					
بصلة خضراء ،	٤٩٩-٣٢٥	٨١٤-٥٨٦	٢١٦٠-١٩٠٠	٣٨٥٠-٢٦٢٠	٤٠٢٠-٣٦٦٠
مقشرة					
فلفل	٨٠٤-٥٠٤	١٠٤٠-٨٤٣	-	٥٩٣٠-٣٧٢٠	-
أناناس					
بطاطس ، غير ناضجة	-	٢٢٨-٥٣	٦١١-٢١٣	٦٩٣-٢٤٢	٧٩٠-٣٨٣
بطاطس ، ناضجة	-	٢٤-١٥	١٩٤-١٤١	٤٢٦-٢٥٧	٦٦٩-٣٧٨
سبانخ	-	٩٢-٢٩	١٢٦-٦٣	١٧٠-٧٨	-
قرع ، الجوز الأزرق					
	٢٢٧-٢٠٤	٦١٥-٣٦٨	٢٣٨٠-١٤٣٠	٣٠٦٠-١٨٤٠	-
	-	-	-	-	١٣٠٠-٧٠٣
قرع ، حلق أصفر					
بطاطا ، غير معالجة	١٣٥-١٢٦	١٩٩-١٥٠	١٩٩-١٥٠	١٠٤٠-٩٠٦	-
بطاطا ، معالجة	-	-	٣٠٥	-	٧٨٠-٥٧٧
طماطم ناضجة	-	-	٢٥٧-٢٠٨	-	-
خضراء					
طماطم ناضجة	-	٨٧-٥٣	٣٠٠-١٧٤	٤٤١-٣٠٠	٥٤٣-٣٦٨
لفت	٩٢	١٠٧-١٠٢	٢٥٧-٢٢٨	٢٧٦-٢٥٧	-
الحرف (بقلة مائية)	٢٨١-٢٠٨	٥١٨-٤٦٥	٢١٨٠-١٧٦٠	-	-

ويزداد معدل التنفس بالنسبة لأي منتج من ضعفين إلى ثلاثة أضعاف عند كل 10°C زيادة في درجة الحرارة. ويوجد لدى التفاعل التنفسي في المصطلحات الكيميائية (Q_{10}) تقريباً من اثنين إلى ثلاثة. فعلى سبيل المثال، نجد أن التفاحة التي عند 10°C تتنفس حوالي ثلاثة مرات أسرع من التفاحة عند صفر $^{\circ}\text{C}$. ونجد أن التفاحة عند درجة حرارة 20°C تتنفس حوالي ثلاث مرات أسرع من التفاحة عند 10°C .

وعامة ترتبط فترة التخزين ارتباطاً عكسياً مع حرارة التنفس. فعلى سبيل المثال، نجد أنه يوجد لدى القرنبيط مع حرارة تنفس مرتفعة للغاية فترة تخزين حوالي 10 إلى 14 يوماً فقط، وذلك بالمقارنة باللفت - منتج ذو معدل تنفسي منخفض - الذي يوجد لديه فترة تخزين من 4 إلى 5 أشهر. ويوضح الجدولان رقم (2، 13) و (3، 13) ظروف التخزين البيئية وفترة التخزين الموصى باستخدامها لكل من الفاكهة والخضر^(٣، ٤). وقد تم حساب معدلات التبادل الهوائي المطلوب لكل منتج من معدلات التهوية المنشورة لمنع تراكم الإيثيلين وغاز ثاني أكسيد الكربون وغازات أخرى. وتوجد بيانات إضافية وأكثر تفصيلاً عن منتجات أخرى متوافرة في المجلة⁽³⁾ (Sea-Land Service, Inc.).

وتعتبر درجات حرارة المنتجات الزراعية حرجة منذ لحظة الحصاد وخاصة عند بدء ظهور فساد ما بعد الحصاد. وقد يؤدي تأخير عملية التبريد عدة ساعات لبعض المنتجات السريعة الفساد إلى تلف لا يمكن التغلب عليه بصرف النظر عن المعاملات الجيدة بعد ذلك^(١).

وغالباً ما تتعارض درجات الحرارة المطلوبة لأفضل نمو وتطور للكائنات الحية الفاسدة مع درجات الحرارة الحقلية أثناء حصاد الخضضر والفاكهة. وقد تلتهم الكائنات الحية الفاسدة المحصول بسرعة إذا لم يتم معاملة المحصول وتبريده سريعاً. ويعتمد تأثير درجات الحرارة المنخفضة الكابحة لهذه الكائنات على نوع الكائن الحي الموجود. وتوجد كائنات حية تستمر في النمو حتى عند درجات حرارة أقل من صفر $^{\circ}\text{C}$ ، كما توجد كائنات حية أخرى خاملة كلياً حتى عند درجات حرارة مرتفعة نسبياً.

جدول (١٣، ٢). درجات الحرارة والرطوبة النسبية الموصى باستخدامهما وفترة التخزين التقريبية وأعلى نقطة محمد وللحتوى المائي والحرارة النوعية والتبادل الهوائي المطلوب للفاكهة الطازجة في المخزن^(٢، ٣).

السلعة	درجة الحرارة، م	الرطوبة النسبية، %	فترة التخزين التقريبية	أعلى نقطة محمد، م	للحتوى المائي، %	الحرارة النوعية ك. جول كجم. م ^٣	مقتربات التبادل الهوائي، م ^٣ ١٠٠٠ كجم. (ساعة) م
التفاح	١- ٤	٩٠	٣- ٨ شهور	١،٥- ١،٠ م	٨٤،١	٣،٦٤	٦،٦
المشمش	١- صفر	٩٠	١- ٢ اسبوع	١،١- ١،٠ م	٨٥،٤	٣،٦٨	٦،٦
الأفوكاتو	٤- ١٣	٩٠- ٨٥	٢- ٤ اسبوع	٣- ٣،	٦٥،٤	٣،٠١	٦،٦
موز	١٤- ١٣	٩٥- ٩٠	- ٨،	٨،	٧٤،٨	٣،٣٥	٦،٦
توت :							
توت أسود	١- صفر	٩٥- ٩٠	٢- ٣ يوم	٨- ٨،	٨٤،٨	٣،٦٨	١،٤
توت أزرق	١- صفر	٩٥- ٩٠	اسبوعين	٣- ١،٣	٨٢،٣	٣،٦	١،٤
توت بري	٢- ٤	٩٥- ٩٠	٢- ٤ شهور	٩- ٩،	٨٧،٤	٣،٧٧	١،٤
الكشمش	١- صفر	٩٥- ٩٠	١- ٢ اسبوع	١- ١،	٨٤،٧	٣،٦٨	١،٤
توت الندى	١- صفر	٩٥- ٩٠	٢- ٣ يوم	٣- ١،٣	٨٤،٥	٣،٦٨	١،٤
ثمر الخمان	١- صفر	٩٥- ٩٠	١- ٢ اسبوع	- ٢،	٧٩،٨	٣،٥٢	١،٤
الريباس	١- صفر	٩٥- ٩٠	٢- ٤ اسبوع	١،١- ١،١	٨٨،٩	٣،٨١	١،٤
توت لوغان	١- صفر	٩٥- ٩٠	٢- ٣ يوم	٣- ١،٣	٩٣	٣،٦	١،٤
توت العليق	١- صفر	٩٥- ٩٠	٢- ٣ يوم	١- ١،١	٨٠،٦	٣،٥٦	١،٤
الفراولة	صفر	٩٥- ٩٠	٥- ٧ يوم	٨- ٨،	٨٩،٩	٣،٨٥	٢،٧
كراز، حامض	صفر	٩٥- ٩٠	٢- ٧ يوم	٧- ١،٧	٨٣،٧	٣،٦٤	١،٤
كراز، حلو	١-	٩٥- ٩٠	٢- ٣ اسبوع	٨- ١،٨	٨٠،٤	٣،٥٢	١،٤
جوز الهند	صفر- ٢	٩٥- ٩٠	١- ٢ شهر	٩- ٩،	٤٦،٩	٣،٤٣	صفر

تابع جدول (١٣، ٢).

السلعة	درجة الحرارة، م	الرطوبة، النسبة، %	فترة التخزين التقريبية	أعلى نقطة لجمده، م	للحوتى المائي، ك. جول الهوائي، م (كجم. م ^{١٠٠٠} كجم. ساعة)	الحرارة النوعية	مطلوبات التبادل
بلح	صفر	٧٥	٦-١٢ شهر	١٥،٧-	٢٠	١،٥١	١،٤
تين، طازج	١- صفر	٨٥-٩٠	٧-١٠ يوم	٢،٤-	٧٨	٣،٤٣	٢،٧
كريب فروت	١٦-١٤	٨٥-٩٠	٤-٦ اسبوع		٨٨،٨	٣،٨١	٤،١
عنب، فينيرا	١-	٩٥-٩٠	٣-٦ شهور	٢،٢-	٨١،٦	٣،٥٦	١،٤
عنب، أمريكي	١- صفر	٨٥	٢-٨ شهور	١،٣-	٨١،٩	٣،٦	١،٤
جوافة	٧-١٠	٩٠	٢-٣ اسبوع		٨٣	٣،٦	٢،٧
ليمون	-	٨٥-٩٠	١-٦ شهور	١،٤-	٨٩،٣	٣،٨١	٤،١
الليم	٩-١٠	٨٥-٩٠	٦-٨ اسابيع	١،٦-	٨٦	٣،٧٣	٤،١
مانجو	١٣	٨٥-٩٠	٢-٣ اسابيع	٩-	٨١،٤	٣،٥٦	٤،١
زيتون، طازج	٧-١٠	٨٥-٩٠	٤ اسابيع	١،٤-	٧٥،٢	٣،٣٥	٤،١
برتقال	٣-٩	٨٥-٩٠	٣-٨ اسابيع	١،٣-	٨٧،٢	٣،٧٧	٤،١
البيايا	٧	٨٥-٩٠	١-٣ اسابيع	٩-	٩٠،٨	٣،٨٩	٤،١
خوخ	١- صفر	٩٠	٢-٤ اسابيع	٩-	٨٩،١	٣،٨١	٤،١
كمثرى	٢- إلى ١-	٩٥-٩٠	٢-٧ شهور	١،٦-	٨٢،٧	٣،٦	٤،١
البرسيمون	١-	٩٠	٣-٤ شهور	٢،٢-	٧٨،٢	٣،٤٨	٤،١
أناناس	٧-١٠	٨٥-٩٠	٢-٤ اسابيع	١،١-	٨٥،٣	٣،٦٨	١،٤
برقوق	١- صفر	٩٥-٩٠	٢-٤ اسابيع	٨-	٨٥،٧	٣،٧٣	٤،١
الرمان	صفر	٩٠	٢-٤ اسابيع	٣-	٨٢،٣	٣،٦	١،٤
السفرجل	صفر إلى ١-	٩٠	٢-٣ شهور	٢-	٨٥،٣	٣،٦٨	٤،١
ليمون (فاكهة)	صفر-٣	٨٥-٩٠	٢-٤ اسابيع	١،١-	٨٧،٢	٣،٧٧	٤،١

جدول (٣، ١٣). درجات الحرارة والرطوبة النسبية الموصى باستخدامهما وفترة التخزين الثمرية وأعلى نقطة تهمد والمحتوى المائي والحرارة النوعية والتبادل الهوائي المطلوب للخضار الطازجة في المخزن.

السلعة	درجة الحرارة، م	الرطوبة النسبية، %	فترة التخزين التقديرية	أعلى نقطة تهمد، م	المحتوى المائي، %	الحرارة النوعية ك. جول. الهوائي، م ^٣ (١٠٠٠) كجم. ساعة) م	متطلبات التبادل
خرشوف كردي	صفر	٩٥-٩٠	١ شهر	١،٢-	٨٣،٧	٣،٦٤	٢،٧
حرفش القدس	١- صفر	٩٥-٩٠	٥-٢ شهور		٧٩،٨	٣،٥٢	١،٤
الهلليون	صفر-٢	٩٥	٢-٣ أسابيع	٠،٦-	٩٣	٣،٩٤	٤،١
بصلة، حبوب							
وقرون	٧-٤	٩٥-٩٠	٧-١٠ أيام	٠،٧-		٣،٨١	٤،١
بنجر، مفتوح	صفر	٩٥	١٠-١٤ يوم	٠،٤-	٨٨،٩		١،٤
بنجر، عروش	صفر	٩٥	٣-٥ شهور	٠،٩-	٨٧،٦	٣،٧٧	١،٤
بروكولي	صفر	٩٥-٩٠	١٠-١٤ يوم	٠،٦-	٨٩،٩	٣،٨٥	٦،٦
كرنب، مبكر	صفر	٩٥-٩٠	٣-٦ أسابيع	٠،٩-	٩٢،٤	٣،٩٤	٦،٦
كرنب، متأخر	صفر	٩٥-٩٠	٣-٤ شهور	٠،٩-	٩٢،٤	٣،٩٤	٦،٦
كرنب، صيني	صفر	٩٥-٩٠	١-٢ شهر		٩٥	٤،٠٢	٤،١
جزر، ناضج	صفر	٩٥-٩٠	٤-٥ شهور	١،٤-	٨٨،٢	٣،٨١	١،٤
جزر، غير ناضج	صفر	٩٥-٩٠	٤-٦ شهور	١،٤-	٨٨،٢	٣،٨١	١،٤
قرنبيط	صفر	٩٥-٩٠	٢-٤ أسابيع	٠،٨-	٩١،٧	٣،٨٩	٦،٦
كرفس	صفر	٩٥-٩٠	٢-٣ شهور	٠،٥-	٩٣،٧	٣،٨٩	٤،١
كرنب، ملفوف	صفر	٩٥-٩٠	١٠-١٤ يوم	٠،٨-	٨٦،٩	٣،٧٧	٤،١
ذرة	صفر	٩٥-٩٠	٤-٨ يوم	٠،٦-	٧٣،٩	٣،٣١	١،٤
خبيبار	٧-١٠	٩٥-٩٠	١٠-١٤ يوم		٩٦،١	٦٩،١	٤،١

تابع جدول (٣، ١٣).

السلعة	درجة الحرارة، م	الرطوبة النسبية، %	فترة التخزين الطبيعية	أعلى نقطة تجمد، م	المحتوى المائي، % ك. جول	الحرارة النوعية م. كجم. ساعة	مطلوبات التبادل الهوائي، م (١٠٠٠ ساعة)
بادنجان	١٠-٧	٩٥-٩٠	اسبوع واحد	٨-	٩٢,٧	٣,٩٤	١,٤
ثوم، جاف	١٠-٧	٩٠	٦-٧ شهور	٨-	٦١,٣	٢,٨٩	١,٤
جندمار الزنجبيل	صفر	٦٥	٦ شهور		٨٧	٣,٧٧	١,٤
الجزر جار	١٣	٩٥-٩٠	١٢-١٠ شهر	٨-	٧٤,٦	٣,٣٥	١,٤
لفت	١- صفر	٩٥-٩٠	١٤-١٠ يوم	٥-	٨٦,٦	٣,٧٣	٢,٧
كرنب ساقى	صفر	٩٥-٩٠	٢-٤ اسابيع	١-	٩٠,٣	٣,٨٥	١,٤
الكراث، أخضر	صفر	٩٥-٩٠	١-٣ شهور	٧-	٨٥,٤	٣,٦٨	٢,٧
خص	صفر	٩٥	٢-٣ اسبوع	٢-	٩٤,٨	٤,٠٢	٦,٦
بطيخ :							
كتالوب	صفر-٢	٩٠-٨٥	٥-١٤ يوم	٢-	٩٢	٣,٩٤	٤,١
بطيخ أصفر	١٠-٧	٩٠-٨٥	٤-٦ اسابيع	١-	٩٢,٧	٣,٩٤	٤,١
عرق العسل	١٠-٧	٩٠-٨٥	٣-٤ اسابيع	٩-	٩٢,٦	٣,٩٤	٤,١
بطيخ أحمر	١٠-٤	٨٥-٨٠	٢-٣ اسابيع	٤-	٩٢,٦	٣,٩٤	١,٤
عيش الغراب	صفر	٩٠	٣-٤ ايام	٩-	٩١,١	٣,٨٩	٢,٧
بامية	١٠-٧	٩٥-٩٠	٧-١٠ ايام	٨-	٨٩,٨	٣,٨٥	٢,٧
بصل جاف	صفر	٧٠-٦٥	١-٨ شهور	٨-	٨٧,٥	٣,٧٧	٢,٧
بصل أخضر	صفر	٩٥-٩٠		٩-	٨٩,٤	٣,٨١	٢,٧
بقلمونس	صفر	٩٥-٩٠	١-٢ شهر	١٠-	٨٥,١	٣,٦٨	١,٤
الجزر الأبيض	صفر	٩٥-٩٠	٢-٦ شهور	٩-	٧٨,٦	٣,٤٨	١,٤
بسلة، خضراء	صفر	٩٥-٩٠	١-٣ اسابيع	٦-	٧٤,٣	٣,٣١	٢,٧
فلفل، حار	صفر-١٠	٦٠-٧٠			١٢	١,٢٦	٢,٧

تهوية المنشآت الزراعية

تابع جدول (٣، ١٣).

السلعة	درجة الحرارة، م	الرطوبة النسبية، %	فترة التخزين التقريبية	أعلى نقطة تجمد، م	المحتوى المائي، %	الحرارة النوعية (ك جول/م ^٣) ١٠٠٠ كجم. ٢٠ كجم. ساعة	متطلبات التهادل الهوائي، م ^٣ /١٠٠٠ كجم. ساعة
فلفل، عذب	١٠-٧	٩٥-٩٠	٢-٣ شهور	٧-	٩٢,٤	٣,٩٤	٢,٧
بطاطس، حصاد مبكر		٩٠		٦-	٨١,٢	٣,٥٦	٢,٧
بطاطس، حصاد متأخر		٩٠		٦-	٧٧,٨	٣,٤٣	٢,٧
البطاطين	١٣-١٠	٧٥-٧٠	٣-٤ أسابيع	٨-	٩٠,٥	٣,٨٥	١,٤
فجل، ربيعي	صفر	٩٥-٩٠	٢-٤ أسابيع	٧-	٩٤,٩	٤,٠٢	١,٤
فجل، شتوي	صفر	٩٥-٩٠	٢-٤ أسابيع				١,٤
الفنومي	صفر	٩٥-٩٠	٢-٤ شهور	١,١-	٧٩,١	٣,٤٨	١,٤
سبانخ	صفر	٩٥-٩٠	١٠-١٤ يوم	٢-	٩٢,٧	٣,٩٤	٤,١
قرع، شتوي	١٣-١٠	٧٥-٥٠		٨-	٨٥,١	٣,٦٨	١,٤
قرع، صيفي	صفر-١٠	٩٠	٥-١٤ يوم	٥-	٩٤	٣,٩٨	٢,٧
بطاطا	١٦-١٣	٩٠-٨٥	٤-٦ شهور	١,٣-	٦٨,٥	٣,١٤	١,٤
طماطم	٢١-١٣	٩٠-٨٥	١-٣ أسابيع	٦-	٩٣	٣,٩٤	٤,١
لفت	صفر	٩٥-٩٠	٤-٥ شهور	١,١-	٩١,٥	٣,٨٩	١,٤
لفت أخضر	صفر	٩٥-٩٠	١٠-١٤ يوم	٢-	٩٠,٣	٣,٨٥	٤,١
الحرف	صفر-٢	٩٥-٩٠	٣-٤ يوم	٢-	٩٣,٣	٣,٩٨	٤,١

ويتولد غاز الإيثيلين بواسطة معظم المواد النباتية، وقد يكون ذا منفعة مهمة أو تأثيرات ضارة على الفاكهة والخضر أثناء المعاملة بعد-الحصاد^(١١). وقد يسبب الإيثيلين نضجاً للفاكهة أو شيخوخة أنسجة بعض النباتات الأخرى. ولا بد لكي يظهر تأثير هذا الغاز من تراكم تركيز بدائي محدود في الجو الداخلي للأنسجة، كما لا بد وأن تكون درجات الحرارة المتولدة أعلى من أقل مستوى. ولا يوجد تحديد جيد بالنسبة للتركيز البدائي أو أقل متطلبات درجة الحرارة بالنسبة لنشاط غاز الإيثيلين لمعظم الخضر والفاكهة. ويعتمد معدل إنتاج ونشاط الإيثيلين على درجة الحرارة، وعلى ذلك فإن التبريد السريع والتنظيم الجيد لدرجة الحرارة مرغوب للحد من تأثيرات الإيثيلين على كل من النضج والشيخوخة. وقد يحدث أقصى تأثير لمعظم المنتجات عند درجات حرارة للمنتج في المدى من ١٧ إلى ٢١ م^(١٢).

وتتطلب تلك المنتجات - مع معدلات تنفس مرتفعة - معدلات تهوية كبيرة في منشآت التخزين المجهزة عن المنتجات ذات معدلات تنفس منخفضة. وتتطلب تهوية بيئة المنتجات ذات معدلات تنفس مرتفعة سعة تبريد كبيرة وضرورية.

وتعامل الحرارة المتحررة من عملية التنفس كحرارة كامنة مكتسبة في منشأة التخزين. ويعتمد الأساس المنطقي لهذا الفرض على الاستخدام الكامل لحرارة التنفس في تبخير الرطوبة المتولدة والمفقودة من المنتج. ويعتبر هذا الفرض صحيحاً بالنسبة لمعدلات نتج معتدلة. ولكن يعتبر هذا الفرض غير صحيح بالمرّة عند معدلات نتج منخفضة للغاية (ملائمة تقريباً لبيئة التخزين المشبّع). وسوف تزداد درجات حرارة المحصول - عند معدل نتج منخفض - عن درجات حرارة وسط التخزين لكي يحدث تسريب لحرارة التنفس. ونتيجة لذلك، فإن جزءاً من حرارة التنفس سوف يظهر كحرارة محسوسة مكتسبة في منشأة التخزين. وسوف تنخفض درجة حرارة سطح المنتج المخزن إلى أقل من درجة حرارة وسط التخزين عند معدل نتج مرتفع للغاية؛ نظراً لأن تأثير التبريد التبخيري مرتبط مع البخار المتولد من رطوبة النتج المفقودة. وعلى ذلك، فيمكن اعتبار التنفس على أنه حرارة كامنة مكتسبة داخل المنشأة، وأن درجة حرارة المنتج المنخفضة والمتولدة من التبريد التبخيري مسؤولة عن الحرارة المحسوسة المناظرة والمفقودة في المنشأة.

وقد تم التركيز على أهمية تأثير التبريد التبخيري المرتبط بالنتح في أبحاث سابقة^(١٠، ١١). فقد ذكر أن العامل الأكثر أهمية عند الأخذ في الاعتبار للحرارة المتقلة بين المنتج وهواء التقلب يكون الفرق بين حرارة النتح وحرارة التبخير (أي المعدل الصافي للحرارة المتولدة)^(١٢). وقد خلُصَ من دراسة الاتزان بين حرارة نتح المنتج والحرارة المطلوبة للتبخير على أنه إذا كانت الحرارة اللازمة لتبخير ماء النتح أقل من حرارة التنفس، فإن درجة حرارة المنتج سوف ترتفع ويبدأ المنتج في تسريب حرارة للوسط^(١٣). أما إذا كانت حرارة البخر أكبر من حرارة التنفس، فإن درجة حرارة المنتج سوف تنخفض ويعمل المنتج في تلك الحالة كمحوض حراري.

وقد تكون عملية تقسيم حرارة التنفس إلى أحمال حرارية كاملة ومحسوسة داخل المنشأة غير المبردة مهم من الناحية النظرية فقط؛ نظراً لأن تأثير تلك الأحمال على المتطلبات التصميمية لتهوية منشآت التخزين غير جوهري. ولكن قد تحتاج عملية التقسيم بين أحمال الحرارة الكاملة والمحسوسة إلى التقدير الكامل لتفاعلات التنفس - النتح. وعلاوة على ذلك، فقد تصبح عملية تقسيم حرارة التنفس إلى مكتسبات حرارية محسوسة وكامنة جوهرياً عند تصميم منشآت التخزين المبردة.

النتح

(TRANSPIRATION)

تتحرر الرطوبة من المنتج المخزن أساساً نتيجة عملية النتح. ومع أن الماء يخرج مع تنفس المنتج - كما هو واضح من المعادلة رقم (١، ١٣) - إلا أن ماء التنفس يبقى في أنسجة المنتج. ويعتبر النتح السبب في الفقد الرطوبي من خلال البخر والانتشار^(١٤). ويعتبر النتح من الخضر والفاكهة عملية انتقال مادة بحيث يتحرك بخار الماء من سطح المنتج إلى الوسط المحيط. ويكون الماء - الذي يعتبر أكبر مركبة متوافرة بغزارة في المنتج الطازج - في صورته السائلة باستمرار داخل كل منتج. وتركيب الخضر والفاكهة من خلايا مفككة ترتبط ببعضها البعض بواسطة حيازات بيولوجية تفضي إلى الفتحات الطبيعية. وتتحرك صورة الماء المائعة خلال تلك القنوات إلى سطح المنتج حيث تبخر.

و يؤثر ذبول و ترهل المنتج - والناتج من فقد الماء بغزارة - على المنظر العام للمنتج مما يزيد من شكوى المستهلك. ويظهر العديد من الخضر والفاكهة مترهلة وذابلة بعد فقد الماء ولو بنسبة ضئيلة بالمقارنة بالوزن الأصلي. وقد يتطلب المنتج الورقي المترهل عملية تقليم إضافية لجعله قابلاً للتسويق. فقد يحدث مثلاً انفرط لعنقود العنب إذا كانت السيقان شديدة الجفاف. ولا بد من تجنب الفاكهة الشديدة الذبول قبل البيع^(١). وسوف يصبح الفقد في وزن المنتج كنتيجة لتبخّر الماء فقداً آخر في التسويق. ويعني فقد في الوزن ٥٪ - وهي نسبة فقد طبيعية - فقد ١ كجم لكل ٢٠ كجم من المنتج أو فقد ٥٠ كجم لكل طن من المنتج المتداول. وقد تم إجراء مراجعة شاملة للغاية وتحليل لكل ما كتب في هذا الموضوع لتجميع قائمة خاصة بمعدلات نتح أكثر من ١٩ منتجاً مختلفاً من الخضر والفاكهة، وكذلك تم استخلاص تأثيرات عوامل عديدة على معدل النتح^(٨). وقد تضمنت الدراسة مراجعة وتحليل ما يقرب من ٥٠٠ ورقة علمية منشورة في العالم على مدار ٥٠ سنة ماضية في مواضيع مرتبطة بطريق مباشر وغير مباشر مع النتح. وتوضح الفقرات التالية مناقشة مختصرة عن تأثير المتغيرات المؤثرة على معدل النتح.

تأثير عجز ضغط بخار الماء (Effect of Water Vapor Pressure Deficit)

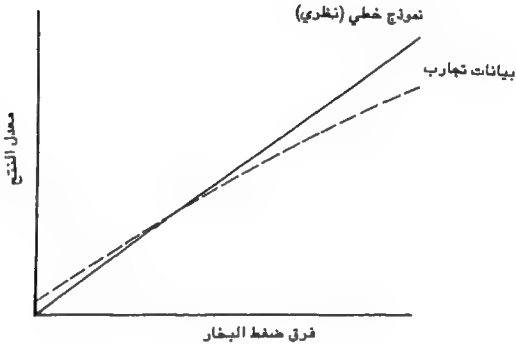
يتم التحكم في معدل النتح بواسطة درجة الحرارة والرطوبة النسبية ومقاومة السطح. وعامة تحتوي الخضر والفاكهة من ٨٠ إلى ٩٥٪ ماء اعتماداً على الأصناف. ويوجد هذا الماء في الفراغات البَيَخْلَوِيَّة للخضر والفاكهة. وعلى ذلك، فإنه في الغالب ما يُفترض أن الجو الداخلي في حالة تشبع. ويتولد النتح أساساً نتيجة للفرق بين ضغط البخار داخل الخضر (أو الفاكهة) وضغط بخار الماء للوسط. وفي الغالب ما يُعتقد أن ضغط البخار خلال منتج - عندما يكون طازجاً - يعتمد كلياً على درجة حرارة المنتج نتيجة لظروف التشبع داخله، بينما يتأثر الضغط البخاري للوسط البيخلوي بدرجة حرارته ورطوبته النسبية. ودائماً ما يُفترض أن يكون المنتج عند نفس درجة حرارة الوسط المحيط.

ويحدث نتح للرطوبة كلما تعرضت المنتجات لضغط بخار ماء منخفض أثناء المعاملة أو الشحن أو عمليات التخزين. ويرتبط معدل النتح من منتج تقليدي بعلاقة خطية مباشرة مع العجز في ضغط بخار الماء. وعادة يحسب العجز بناءً على فرض تساوي درجات حرارة كل من المنتج والوسط المحيط به. ويجب أن يُعبر عن العجز في ضغط بخار الماء المحسوب على هذا الأساس بعجز ضغط بخار الماء "الظاهري". وقد لوحظ وجود انحرافات عن العلاقة الخطية عند القيم المتطرفة من ضغوط البخار سواء المرتفعة أو المنخفضة للغاية. وترجع تلك الانحرافات إلى الفرض القائل أن المنتج يوجد عند درجة حرارة وسط التخزين. بينما وجد بعض الباحثين - عند قياس معدلات النتح لمنتجات عديدة تحت ظروف الحالة غير المستقرة - أن الضغوط البخارية تحت الطبقة السطحية للمنتجات كانت إلى حد ما أقل من الضغوط البخارية التشبعية عند درجات حرارة الوسط^(١١،١٠). ولم يُقدم الباحثين تفسيرات لذلك، ولكن لوحظ أن فروض الأبحاث السابقة بالنسبة لضغوط البخار المشبعة تحت الطبقة السطحية للمنتجات قد لا تكون كلياً صحيحة.

وقد يكون أحد التفسيرات الممكنة لهذا الانحراف عند معدلات نتح منخفضة مرده أن حرارة المنتج الداخلية والمتولدة من التنفس ترفع من درجة الحرارة الداخلية تدريجياً بالنسبة لبيئة التخزين. وسوف يسبب ذلك فرق ضغط بخار أعلى من المحسوب بفرض تساوي درجات الحرارة.

وقد يكون الانخفاض في فرق ضغط البخار "الظاهر" عند معدلات نتح مرتفعة راجعاً لتأثيرات التبريد التبخيري للنتح من خلال وقرب سطح المنتج، مما يسبب انخفاضاً موضعياً لدرجة الحرارة، وبذلك تنخفض ضغوط البخار الموضعية. ويبيّن الشكل رقم (١، ١٣) النموذج التقليدي بطول منحني ممثل موضعياً الانحرافات التي تمت تفسيرها عند حدي تطرف نقص ضغط بخار الماء^(١٢). ويحتمل - نتيجة لهذه الانحرافات - وجود نتح في أوساط مشبعة.

ومن الضروري عند أخذ النتح في الاعتبار أن يتم حساب ضغط بخار الماء للمنتج على أساس درجة حرارة سطح المنتج بدلاً من درجة حرارة الوسط.



شكل (١، ١٣). انحراف منحنى النتائج الفعلية عن النموذج الخطي

تأثير حركة الهواء (Effect of Air Movement)

تميل الطبقة الحدية المحيطة بالمنتج إلى التشبع مع فقد المنتج للرطوبة، وذلك نتيجة لتراكم الرطوبة الموضعية. وتعمل حركة الهواء على تسريب هذا الهواء وإحلاله بهواء أقل تشبعاً، وبالتالي يزداد معدل التهيج. ويزداد معدل التهيج أيضاً مع سرعة الهواء حتى يصل إلى النقطة حيث زيادة سرعة الهواء يكون له تأثير طفيف أو لا يكون له تأثير على معدلات التهيج على الإطلاق. وقد نُشر في دراسة عن التهيج أن سرعات حتى 0.07 (م/ث) تميل إلى زيادة معدلات التهيج، مع انعدام التأثير عند سرعات أكبر من 0.07 (م/ث) (١٣).

تأثير التنفس (Effect of Respiration)

من الفروض الشائعة التي فرضها الباحثون أن فقد الوزن الوحيد الراجع إلى التنفس يكون من خلال تسرب غاز ثاني أكسيد الكربون. ولكن قد لوحظ أن التنفس يسبب أيضاً فواقد خلال تولده للحرارة من الخضر والفاكهة. وتميل الحرارة المتولدة إلى زيادة ضغط البخار في المنتج مما يؤدي إلى زيادة الفواقد الرطوبة نتيجة التتح.

ويبدو أن تأثيرات التنفس راجعة إلى: (أ) تأثير كيميائي - تحرر ثاني أكسيد الكربون والماء، (ب) تأثير فيزيائي - تسرب الطاقة. ولقد نُشر في دراسة سابقة أن ثاني أكسيد الكربون يتشتر في الوسط، بينما يبقى الماء في الأنسجة^(١٤). وتميل حرارة التنفس إلى رفع درجة حرارة المنتج والتي تؤدي إما إلى زيادة معدلات النتج حيث تترافر فروق ضغط البخار أو تسبب نتحاً في الأوساط المشبعة.

تأثيرات حجم وشكل ومساحة سطح البضائع المخزنة

(Effects of Size, Shape, and Surface Area of the Commodity)

لكل من الحجم والشكل ومساحة سطح الفاكهة أو الخضار تأثير جوهري على التتح. فيوجد لدى المنتجات الكبيرة الحجم مساحة سطحية منخفضة بالنسبة لوحدة الوزن عن نفس أنواع المنتجات والصغيرة الحجم، وعلى ذلك تميل إلى فقد رطوبة أقل بالنسبة لوحدة الوزن. وقد لوحظ أن للثمار الصغيرة طبقة سطحية رقيقة عن الثمار الكبيرة الحجم، وقد يكون ذلك سبب آخر في اختلاف أنماط معدلات التتح التي تمت ملاحظتها^(١٥).

وقد يؤثر شكل الفاكهة أو الخضار أيضاً على نسب اختلاف المساحة السطحية إلى الوزن مثلما يؤثر على معاملات انتقال كل من الحرارة والكتلة. وقد لوحظ أن الجذور الطويلة والرفيعة ذات الشكل المخروطي تفقد وزناً بمعدل أكبر من الجذور السمكية ذات الأشكال الأسطوانية. وقد لوحظ أيضاً أن شكل المنتج لا بد وأن يؤخذ في الاعتبار عند تقدير معاملات انتقال الحرارة والكتلة^(١٦).

تأثير البناء السطحي (Effect of Surface Structure)

يعتبر البناء السطحي مفهوماً مهماً للغاية في دراسات التّح. فإذا كان نقص ضغط البخار يمثل القوة الأساسية في العملية، فإن البناء السطحي والقشري مع طبقة الهواء الملامسة يمثلان المقاومة لانتقال المادة. فمع أن أسطح بعض الحُضُر والفاكهة تكون تقريباً مغطاة كلياً بطبقة شمعية غير نفاذة، إلا أنها تقدم سبلاً عديدة لفقد الماء مثل: الندبات الموجودة في السيقان والمسامات العدمية والتغيّرات (إن وجدت) والتشقّفات وشعيرات البشرة وغيره. ويوجد لدى المنتجات المختلفة والأنواع المختلفة لنفس المنتج أبنية بشرات مختلفة، وعلى ذلك يكون لدى المنتجات مقاومات مختلفة لانتشار الرطوبة. ويعتبر ذلك السبب الرئيسي في تغيّرات معدلات التّح بين أنواع المنتجات المختلفة.

ويسبب تراكم الشمع على أسطح الثمار تأثيراً جوهرياً بالنسبة لفقد الماء. فقد نُشر في بحث أن إزالة الطبقة الشمعية من التفاح تسبب زيادة معدلات التّح والتي لا يمكن تعويضها عند تشكل طبقة شمعية جديدة على القشرة^(١٨). وقد يكون لدى البناء السطحي للثمار تأثيرات أخرى. فعلى سبيل المثال، يُقال إن الخوخ لديه شعيرات على البشرة تقاوم تسربات مناطق الرطوبة المرتفعة بالقرب من السطح مما يسبب فقد كمية رطوبة أقل عن الثمار ذات القشرات الناعمة^(١٩).

عوامل أخرى (Other Factors)

وتوجد عوامل أخرى ذات تأثيرات متغيّرة على معدلات نتح المنتج القابل للفساد مثل درجة النضج والفواقد الرطوبة وكمية المواد المتحللة. وقد تؤثر درجة نضج الفاكهة أو الحُضُر على معدلات التّح بها؛ نظراً للتغيّرات المناظر في البناء السطحي. ومن الشائع الاعتقاد أن الفاكهة غير الناضجة ذات معدلات نتح أسرع من الفاكهة الناضجة. ويبدو أن لدى الطماطم معدل نتح ثابتاً بصرف النظر عن درجة النضج. وتبدي الثمار الاستوائية مثل ثمار الببّو زيادة في التّح مع ظهور الألوان على القشرة وبداية الارتفاع إلى مرحلة حرجة، كما يزداد ذلك النمط أكثر

مع ظهور بقع على السطح. وقد لوحظ أن معدلات نتح التفاح تكون مرتفعة في بداية الفصل عندما تكون قشرة الثمرة ذات نفاذية عالية لبخار الماء^(١٨). وتتناقص النفاذية حتى تصل إلى أقل قيمة لها عند قمة النضج، ثم يبدأ بعد ذلك معدل النتح في الزيادة مرة أخرى.

ويعتبر انخفاض نفاذية المادة من الظواهر الشائعة الحدوث في عملية انتقال رطوبة المواد البيولوجية. فنتج عن التجفيف السريع للأنسجة السطحية نفاذية منخفضة لانتشار البخار، مما يؤدي إلى الحد من فقد رطوبة أكثر. ويرجح أن يحدث هذا التقيد في فقد الرطوبة فقط إذا كان التجفيف قاسياً.

وتحتوي الرطوبة في أغشية خلايا معظم الخضر والفاكهة على مواد متحللة (سكر وغازات وغيره). وقد لوحظ أنه إذا تم وضع فاكهة أو خضار في وسط مشبع، فإن الإنتاج الحراري المتولد من التنفس قد يسبب زيادة طفيفة في درجة حرارة المنتج. وسوف ينتج عن ذلك فرق ضغط بخاري صغير بين المنتج والوسط المحيط^(١٩). ولكن قد يعمل وجود المواد المتحللة على خفض ذلك الفرق في ضغط البخار. وهكذا، فإذا كان المنتج يسرب رطوبة عند تخزينه تحت ظروف تشبع، فإن واقع التنفس قد يحتاج إلى أكثر من مجرد تجنب تأثير المواد المذابة.

وتعتبر معدلات فقد الرطوبة المرتفعة للغاية عند البداية من الفاكهة والخضر الطازجة بعد عملية الحصاد مباشرة ظاهرة شائعة الحدوث. وبعد ذلك يحدث انخفاض بمعدل سريع حتى يتم الوصول إلى معدل نتح ثابت. وقد لوحظت هذه الظاهرة مع العديد من الخضر والفاكهة^(٢٠). وقد وجد أن معدل الانخفاض يتغير مع نوع المنتج. فعلى سبيل المثال، نجد أن البطاطس - والتي لها مجموعة طبقية من القشور السطحية بالإضافة إلى مساهمة الثناتم جروح الحصاد - قد تحتاج إلى أسبوعين لكي يصل النتح إلى قيمة مستقرة. أما بالنسبة للخضر الورقية، حيث تجفيف القلامات الماصة وانسداد الثغيرات من أسباب نقص معدل النتح، فقد يكون حوالي ساعتين كافيتين للوصول إلى معدل نتح ثابت.

وتوجد في إحدى الدراسات^(٨) معلومات إضافية عن تأثير هذه العوامل، وكذلك تأثير عوامل أخرى على معدلات نتح الفاكهة والخضر.

معاملات النتح المتحصل عليها من الدراسات السابقة

(TRANSPIRATION COEFFICIENTS OBTAINED

FROM THE LITERATURE)

يعرض الجدول رقم (٤، ١٣) بعض قيم معاملات نتح الفاكهة والخضر. وقد تم الحصول على تلك القيم إما بطريق مباشر أو حُسبت من النتائج الموجودة في الدراسات السابقة المنشورة. ويعرف معامل نتح أي خضار أو فاكهة على أنه كتلة الرطوبة الخارجة بالنتح بالنسبة لكل من وحدة الكتلة من المنتج ووحدة العجز في ضغط بخار الماء البيئي ووحدة الزمن.

ويجب الأخذ في الاعتبار للمشاكل الكثيرة التي ووجهت عند إعداد جدول يمثل هذه الطبيعة قبل الاستخدام الفعلي. فلا يمكن اعتبار أن كل الأرقام المتحصل عليها من المطبوعات دقيقة ويمكن الاعتماد عليها. فعلى سبيل المثال، نجد أن التجارب التي أجراها العديد من الباحثين لم تكن مصممة تحديداً لقياس معاملات النتح. والأكثر من ذلك، نجد عند مراجعة تلك المطبوعات أن معاملات النتح تتغير مع كل من نقص ضغط البخار ودرجة حرارة المنتج ودرجة النضج والنوع ووقت القطف وسرعة الهواء وحجم المنتج. ونجد في بعض الأحيان أن التغيرات تكون كبيرة نسبياً. فقد لوحظ في حالات عديدة وجود معامل نتح مرتفع في فترة الاختبار المبكرة متبوعاً بانخفاض سريع ثم الاتجاه إلى الاستقرار. وقد سجل هذا المعدل الابتدائي بعض الباحثين وأهمله آخرون.

وقد تضمنت اختبارات أخرى قياس الفواقد الوزنية للمنتجات ذات الطبقة الشمعية والمنتجات المغسولة أو المعبأة. ومازال البعض يستخدم أحجام عينات صغيرة للغاية، وذلك للحصول على معلومات مفيدة أو مقنعة.

جدول (٤, ١٣). معاملات نتج بعض أنواع الخضر والفاكهة

المنتج والنوع	معامل النتج، ملي جم/ (كجم. ث)	المدى المستخدم والمدون في الأبحاث السابقة
التفاح		
يوناثان	٣٥	٢٨-١٦
ذهبي حلو	٥٨	٢٥٠-٢٩
نبنة براملي	٤٢	١٠٠-١٦
متوسط كل الأنواع	٤٢	١٠٠-١٦
كرنب مسلوقة	٣٣٠٠	٩٧٧٠-٣٢٥٠
غير محدد	٦١٥٠	
متوسط كل الأنواع		
كرنب		
كرنب بنسلفانيا	٢٧١	
مهذب أو مقلم	٤٠٤	
غير مقلم		
جزر		
نانتيس	١٦٤٨	١٨٩٦-١٠٦
شانتيني	١٧٧١	١٩٦٣-١٤٠
متوسط كل الأنواع	١٢,٧	٣٢٥٠-١٠٦
كرفس		
غير محدد	١٧٦٠	٣٣١٣-١٠٤
متوسط كل الأنواع		٣٣١٣-١٠٤
جريب فروت		
غير محدد	٣١	١٥٠-٢٩
مارش	٥٥	١٦٧-٥٢
متوسط كل الأنواع	٨١	١٦٧-٢٩
عنب		
إمبراطور	٧٩	٢٥٤-٢١
كاردينال	١٠٠	
طومسون		

تابع جدول (٤, ١٣).

المتنّج والنوع	معامل التنج، ملي جم/ (كجم . ث)	المدى المستخدم والمحدّد في الأبحاث السابقة
متوسط كل الأنواع	٢٠٤	١١٧-٨٣
كرات	١٢٣	٢٢٣-١٨٠
ماصبل بيرف	١٠٤٠	٢٥٤-٢١
متوسط كل الأنواع	٧٩٠	١٠٤٢-٥٣٠
ليمون		
يوريكا	٢٢٧	
أندضر غامق	١٤٠	٢٢٩-١٣٩
أصفر	١٨٦	
متوسط كل الأنواع	٨٧٥٠	٨٧٥٠-٦٨٠
خس	٧٤٠٠	
منقطع النظر		
متوسط كل الأنواع		
بصل	٩٦	
حار غريفي	٤٤	
غير مملح	٦٠	١٢٣-١٣
مملح		
متوسط كل الأنواع	٥٨	٩٠-٢٥
برتقال	١٠٤	١٤٠-٣٨
فالسبيا	١١٧	٢٢٧-٢٥
نافال		
متوسط كل الأنواع	١٩٣٠	٢٧٧١-١٠٩٤
جزر أبيض		
التاج الأجوف	٩١٧	١١٣٨-٦٩٦
خوخ	١٠٢٠	١٥٢١-٥٢٠
حمى حمراء	٢٧٤	١٥٢١-٢١٠
ناضج صلب	٥٧٢	٢٠٨٩-١٤٢
ناضج رطب		
متوسط كل الأنواع		

تابع جدول (٤, ١٣).

المنتج والنوع	معامل التنج، ملي جم/ (كجم. ث)	المدى المستخدم والمدون في الأبحاث السابقة
كمثرى		
باس جراسان	٨٠	٩٦-٥٨
بيوري كليرجو	٨١	١٤٣-١٤١
متوسط كل الأنواع	٦٩	
برقوق		
النصر		
غير ناضج	١٩٨	٢٢١-١٧٥
ناضج	١١٥	١٢٧-١١٠
ويكسون	١٢٤	١٣٣-١١٥
متوسط كل الأنواع	١٣٦	٢٢١-١١٠
بطاطس		
مانو	٢٥	٤٠-١٥
ناضج		
كينيك	١٧١	
غير مملح	٦٠	
مملح		
سباجو		
غير مملح	١٥٨	
مملح	٣٨	
متوسط كل الأنواع	٤٤	١٧١-٢
اللفت الأصفر		
(السويدي)		
لورنشيان	٤٦٩	
طماطم		
مارجلوب	٧١	
أيروكروس ب ب	١١٦	٣٦٠-٧١
متوسط كل الأنواع	١٤٠	

ويتضح مع كل هذه التغيرات وجود بعض القصور في بيانات الأبحاث السابقة. فعتبر المعلومات المدونة في الجدول رقم (٤، ١٣) عن معاملات التتح - بالنسبة لأنواع محددة من منتج معين - القيم الأكثر اعتماداً وتمثيلاً لذلك النوع. وتعتبر القيم المتحصل عليها من التجارب التي تحمل الطابع البحثي من حيث الأساسيات والطرق والتجهيزات المستخدمة قيماً يمكن الاعتماد عليها. وتوجد أيضاً بالجدول رقم (٤، ١٣) قيم متوسطة لكل الأنواع. وتوضح تلك القيم المتوسطة التغيرات بين القيم المتحصل عليها.

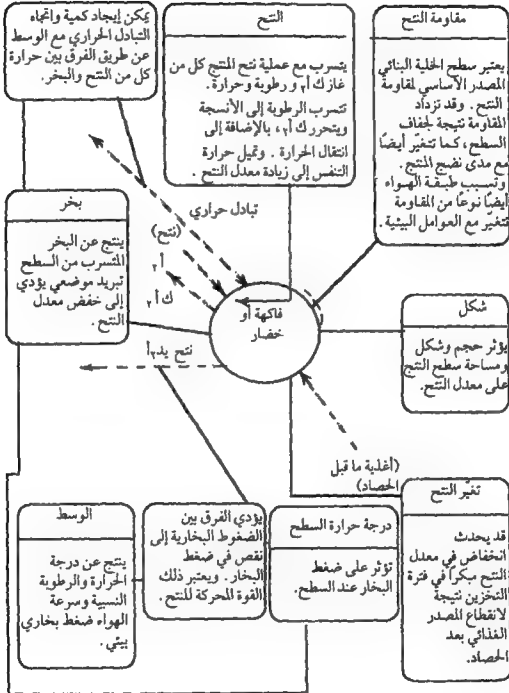
وقد تم تطوير نموذج رياضي للتنبؤ بمعدلات نتح الفاكهة والخضرة ذات الشكل الكروي تقريباً مع غو القشور السطحية^(١٣، ١٤). وقد تم تطوير هذا البرنامج بناءً على كل المتغيرات الجوهرية المؤثرة على التتح والتي تمت مناقشتها سابقاً. وقد تمت مضاهاة البرنامج الرياضي باستخدام تجارب مكثفة على الطماطم. وقد نُشر في أحد الأبحاث استخدام النموذج في إيجاد ظروف التخزين الأكثر اقتصاداً للطماطم^(٢٤).

وقد نوقشت عوامل كثيرة مؤثرة على معدلات التتح أو على سلوك نتح الخضرة والفاكهة. ويصف الشكل رقم (٢، ١٣) مُجَمَّل العوامل والظواهر المرتبطة بالتتح^(٨).

اعتبارات معاملة الهواء

(AIR HANDLING CONSIDERATIONS)

من المهم عند إزالة الحرارة من الفاكهة أو الخضرة المخزنة أن يكون هواء التهوية في منشأة التخزين قادراً على المرور من خلال مادة المنتج. ويعتبر هواء التهوية وسطاً تتقل من خلاله الحرارة إلى الجو الخارجي. ولا يمكن للهواء أن ينقل الحرارة بكفاءة إلى الخارج إلا إذا كان قادراً على الوصول إلى مصدر الحرارة. والأكثر من ذلك، من المرغوب أن يصل هواء التهوية إلى المنتج في كل حمل مرصوص أو صندوق عندما يكون المطلوب تبريد المنتج بمعدل منتظم وسريع^(٢٥).



شكل (٢، ١٣). معدل نتج الفاكهة والخضار؛ الظاهرة والعوامل المرتبطة

ويوجد لدى المنتجات التي تنفس والسريعة الفساد متطلبات محددة بالنسبة لضغط وسرعة الهواء والرطوبة أثناء التخزين سواء تم التخزين في صناديق أو في تكديسات. وقد تم تحديد متطلبات تخزين المنتجات كالآتي^(٤):

١- مطلوب تيار من الهواء لاختراق السلع المحمولة في صناديق وكراتين داخل أوعية. ولا بد وأن يكون الضغط الاستاتيكي للهواء كافياً بحيث يتم اختراق الحمل المعبأ في الصندوق من خلال فتحات صغيرة.

٢- لا بد وأن يتم توزيع الهواء بحيث تحاط معظم المنتجات بتيار من الهواء جميع الأوقات.

٣- لا بد من تصميم معاملة الهواء للتخلص من الغازات السامة والحرارة المتولدة من المنتج أثناء التنفس. ولكن علاوةً على ذلك، يجب تجنب الاستخدام الزائد لهواء التهوية الخارجي أو الهواء المكثف داخل المخزن.

ويحتمل أن يكون دفع الهواء بالحمل الطريقة الأكثر شيوعاً لتهوية الخضر والفاكهة. ويتضمن الحمل تحت الظروف المثالية إمرار الهواء خلال الصندوق بحيث يتم التخلص من الحرارة من على سطح كل حبة فاكهة على حدة. ويمكن أداء ذلك عن طريق التبريد في أنفاق حيث توجه سرعة الهواء المرتفعة إلى سطح صندوق الفاكهة المفتوح. ويكون التطبيق الآخر عن طريق استخدام نظام التهوية المدفوع. وتعتبر طريقة التكديس ضرورية لمنع المرور العابر للهواء وإحداث فرق ضغط إستاتيكي على جانبي التكدس، مما يدفع الهواء للمرور خلال فتحات تهوية الصندوق بدلاً من الدوران من على الأسطح الخارجية^(١٦).

ويمكن إنجاز التهوية أيضاً بواسطة تبادل الهواء في الأوعية المعبأة بواسطة فعل فتتوري يتحصل عليه بتحريك الهواء في قنوات خارجية إلى الأسطح الخارجية للصندوق. ولقد وضح أن التفاح المعبأ في صناديق ذات فتحات تهوية ومرصوص في صفوف مع الفتحات يتعرض لتبريد بمعدل أسرع من نفس التفاح المعبأ في صناديق غير مهبوة^(١٧). ولقد أوضحت الدراسات أن الصندوق الذي يحتوي على ١٨، ١ كجم من الفاكهة يجب أن يحتوي على الأقل على مساحة ١١٦ سم^٢ من الفتحات لكي يتم تبادل الهواء بكفاءة^(١٨). ولقد وجد أن زيادة مساحة الفتحات في

الصناديق من صفر حتى ٢, ٥٪ مع سرعة للهواء عند السطح المبرد ١, ٠ (م/ث) تزيد من معدل التبريد إلى ٢٢٪^(٢١). وتؤدي زيادة إضافية في مساحة التهوية ٤, ١٠٪ إلى زيادة معدل التبريد بحوالي ٦٠٪.

ويتم تبريد التفاح السائب في الصناديق المفتوحة بكفاءة إذا تمت عملية الرص بحيث يمكن وصول الهواء إلى المنتج. وقد وجد أن التفاح السائب يبرد بمعدل أربع مرات أسرع من التفاح المعبأ عندما يكس في صفوف فردية، وثلاث مرات أسرع من التفاح المعبأ والمحمول في بالات^(٢١). وقد وجد في مقارنة بين صناديق تفاح قياسية سعة واحد بوشل وصناديق تسع من ٣٢٠ إلى ٦٤٠ كجم من الفاكهة، أن التفاح السائب يبرد بمعدل مماثل أو أفضل في الصناديق الأخيرة عن التفاح داخل الصناديق القياسية^(٢١).

ولقد نُشر في بحث أن رص الصناديق بحيث تسمح لسريان بعض الهواء بين التكدسات يتطلب من ٧٥ إلى ٨٢ ساعة للتخلص من حرارة الحقل ولإعاقة نضج الكمثرى المعبأة في علب كرتون^(٢٢). وتحتاج الكمثرى المعبأة في صناديق خشبية إلى حوالي ٥٠ ساعة فقط^(٢٢). وتحتاج الكمثرى المعبأة في صناديق - في تكدسات لا تسمح بمرور الهواء بين الصناديق ومعرضة للهواء من جانب واحد فقط - إلى وقت أكثر لإزالة كمية حرارة كافية بالمقارنة بالصناديق المرصصة في تكدسات ماثلة، ولكن معرضة للتبريد من عدة اتجاهات. وتطلب الكمثرى المعبأة في كراتين ٢٠٠ ساعة للتبريد بالمقارنة بالكمثرى المعبأة في صناديق خشبية والتي تحتاج إلى ٦٨ ساعة. ويتأثر معدل تهوية الفاكهة المعبأة في كراتين تأثراً كبيراً بطريقة التكدس. ففي الحقيقة قد تكون لدى طريقة التكدس تأثير عكسي أكثر على تبريد الفاكهة المعبأة في كراتين عن مثيلاتها المعبأة في صناديق خشبية؛ نظراً لخصائص مقاومة الهواء للألوان العديدة من الكراتين المصنوعة من رقائق ألياف الخشب القاسية.

و تسرب أثناء التهوية بعض الحرارة بالتوصيل من المنتج المعبأ في صناديق من خلال المنتج وحوايط الصندوق. وتسرب الحرارة المتبقية مع حركة الهواء من خلال الصندوق وفتحات التهوية في جدران الصندوق. وقد لا يحتاج إلى الصناديق المهواة إذا كان المنتج لن يجرح بواسطة تبريد بطيء نسبياً. ويمكن تهوية الصناديق

المعرّجة بعمل فتحات أو دوائر في الجدار المعرّج. ويتّج عن تهوية ٥٪ من المساحة الجانبية للصناديق المعرّجة خفض وقت التبريد ٢٥ ٪ وتقليل إجهاد التكديس بحوالي ٢ إلى ٣ ٪ فقط إذا لم توجد ثقب للتهوية في أركان الصندوق. ولا يوصى باستخدام صناديق لديها مساحة تهوية أقل من ٢ ٪؛ نظراً لأن معدل تبريد تلك الصناديق يعادل معدل تبريد الصناديق غير المهواة^(١). وقد يكون نتيجة للفروق الصغيرة بين الصناديق المتماثلة في بعض الأحيان تأثير واضح على سلوك التهوية لدى كل منها. ولا بد من اختبار تصميم الصناديق وطريقة تعبئة المنتج تحت ظروف من سريان الهواء والضغط الاستاتيكي المعروف قبل أن يتم التنبؤ بالأوقات المطلوبة لاختبار التبريد^(٢٩).

ويمكن أن تستخدم أي طريقة مؤثرة- تعتمد على تبادل الهواء داخل الصندوق- فقط إذا كان الصندوق فارغاً من مواد تغليف المنتج التي تعوق جدياً سريان الهواء. ولا بد- إذا كانت مواد تغليف الثمار أو أي مواد تعبئة أخرى تحجز حركة الهواء- من التخلص من معظم الحرارة داخل الصندوق بواسطة التوصيل. وقد وجد عند إهمال الحرارة المتبقية بالتوصيل من الصندوق- كما يحدث مع التفاح المغلف- أن الوقت اللازم لإتمام نصف عملية التبريد يتغيّر مع مربع المسافة من السطح المعرض من الصندوق^(٣٠). وقد نُشر في نفس البحث أن خيوط البولي إيثيلين الموجودة في صناديق كمثرى مغلفة قد أدت إلى خفض معدل التبريد حوالي ٣٥ ٪، وذلك بالمقارنة بالصناديق التي لا تحتوي على تلك الخيوط، وأن كلاً من نوعي الصناديق قد تعرض جيداً لهواء بارد. وقد نُشر أيضاً أن التفاح المغلف في صندوق خشبي عادي يتطلب فترة أطول للتبريد بمقدار ٣٥ ٪ عن الثمار غير المغلفة والموجودة في نفس نوع الصندوق^(٣١). ونظراً لوجود الحيزات الهوائية بين التفاح الموضوع في صواني داخل صناديق مصنوعة من رقائق ألواح الخشب القاسية، فإنه يمكن تصوّر أن الثمار في هذه الصناديق سوف تبرد بمعدل أسرع من الثمار التي في صناديق خشبية إذا استخدمت فتحات تهوية ذات حجم وموضع ملائم ومتصلة مع تكديس ملائم من صناديق مصنوعة من رقائق ألواح الخشب القاسية.

وقد تم تطوير نط التكديس بحيث برهن بنجاح على تقليل البقع الدافئة في مناطق محددة في مباني المخازن . ولكن غالباً ما تعمل تلك الأنماط من التكديس على تقليل كفاءة استخدام مساحة التخزين ، وقد تزيد من تكلفة العمالة المستخدمة . فتسمح مساحات التكديس التي في حدود عرض ٣ ، ٠ م بسريان حجم كبير من الهواء بالنسبة للتبريد السريع مع ضغط استاتيكي منخفض . ولكن في الغالب ما تكون ٦٠٪ من مساحة الأرضية مشغولة بممرات هوائية ، مما يعني أن هذا النظام عملي فقط إذا أمكن الاقتصاد من تخصيص كل هذه المساحة في عمل الممرات^(١) .

وتوجد مميزات لدى استخدام سريان هوائي رأسي خلال المنتج المكثس أو من خلال قمة وقاع الصناديق المهواة ، ومع ذلك تعتبر غير شائعة الاستخدام باستثناء مع أكوام البصل أو مخازن البطاطس . وعادة توجد الممرات الهوائية لتتلاءم مع سريان الهواء الرأسي فوق أو تحت المنتج ، وقد تكون بحجم كاف دون التأثير على مساحة الأرضية . ويوجد اعتراض على تهوية الأرضية أو عمل شبك حديدية لإمرار هواء كاف من تحتها ، وذلك لارتفاع التكاليف . وتكون العلاقات التي تربط سريان الهواء الخارجي مع كل من معدل التبريد والضغط الاستاتيكي وطول عمر الهواء بالنسبة لسريان الهواء في اتجاه رأسي مماثلة لسريان الهواء في الاتجاه الأفقي^(١) .

وقد يسبب الاستخدام الزائد للهواء في فقد جزء مهم من المنتج أثناء التخزين . فمن المهم للغاية الحد من حركة الهواء في منطقة التخزين إلى أقل حد كاف لحمل كل من الحرارة المتولدة من المنتج والحرارة المتسربة إلى منطقة التخزين ، إلا إذا كان الهواء رطب . ففي الغالب ما يكون استخدام سرعة هواء ٠ ، ٧ (م/ث) كافياً للمحافظة على درجة الحرارة المرغوبة أثناء التخزين . ويكون الفقد المائي عند تلك السرعة حوالي نصف القيمة فيما لو تم التبريد عند سرعة ٠ ، ٥ (م/ث)^(١) .

ويكون المنتج القريب من الأرضية - المنتج الأبعد عن مدخل الهواء - الأدفأ ؛ نظراً لتلامسه مع هواء أصبح دافئاً بعد مروره على التكدسات . ولكن لا يتأثر - عند أي معدل سريان محدد بالنسبة لوحدة أوزان المنتج - معدل التبريد جوهرياً بالقرب من الأماكن المنخفضة والبعيدة عن مدخل الهواء بطول الممر الهوائي للمنتج . وقد ييسر استخدام تكدسات واسعة من المعاملة ، كما قد يُقلل أيضاً من مساحة الأرضية

المشغولة بالممرات الهوائية . ويسمح هذا الترتيب للتكدسات بتبريد المنتج في الأماكن المنخفضة والبعيدة عن تيارات الهواء دون تأخير، مع أن الضغط المطلوب لتحريك الهواء يزداد بسرعة بزيادة عرض التكدس .

وقد يكون من المفيد فهم غط التبريد في منشأة التخزين لإيجاد درجة حرارة المنتج المخزن . فقد يتغير موضع المنتج الدافئ من نظام إلى نظام ، كما قد يتأثر بنوع الصندوق المستخدم .

ولا تعطي درجات حرارة الجو المحيط توضيحاً كافياً عن درجة حرارة قلب المنتج حيث يكون التبريد بطيئاً . فقد يكون معدل التبريد عند سطح المنتج أكبر عدة مرات من معدل التبريد عند عمق ١,٣ سم فقط داخل أنسجة المنتج . وهكذا يجب أخذ درجة الحرارة عند موضع في قلب المنتج .

ويجب أخذ قياسات درجة حرارة المنتج بالقرب من مركز الصندوق ؛ نظراً لأن التبريد يكون عند أقل معدل له عند ذلك الوضع . وبالمثل ، من المهم اختيار صناديق من مركز حمل تكدس لمنتج . وتكون درجة حرارة قلب المنتج في مركز صندوق موجود في مركز حمل تكدس لمنتج أعلى درجات حرارة مقاسة^(٢٥) .

و بصرف النظر عن الطريقة المستخدمة في قلب الهواء ، فإن تلك الطريقة لا بد وأن تصمم عند أقل ضغوط إستاتيكي^(٢٥) . وعامة يصمم العديد من النظم الهوائية لتوليد ضاغط إستاتيكي صاف من ٥٠٠ إلى ٧٥٠ باسكالاً . ومن الشائع - بالنسبة للأحمال المجمعة - استخدام ضاغط إستاتيكي من ٢٠٠ إلى ٣٧٠ باسكالاً . وقد نُشر في بحث أن قلب الهواء في نظام تهوية منتج لا بد من دراسته بالنسبة لمعدل السريان والضغط وأخيراً القدرة المطلوبة لقلب الهواء عند ضغط ومعدل سريان محدد^(٢٥) . ويواجه سريان الهواء - من خلال أي نظام قلب - بمقاومة عند نقط متعددة في النظام . وسوف يواجه الهواء مقاومة في أي نظام تهوية منتج - سواء تم تجميع المنتج في تكدسات أو في صناديق - في كل من الأنابيب والخوافظ ومداخل ومخارج الهواء وفي مواضع أخرى مثل الحيزات بين الصناديق وفتحات الصناديق والمنتج نفسه . وتسبب تلك المقاومات نتيجة للاحتكاك واضطراب السريان فواقد للطاقة .

و سوف يواجه سريان الهواء خلال نظام محدد ذي قيود فيزيائية من المقاومات التي تؤدي إلى فقد كبير للطاقة عند معدلات سريان هواء مرتفعة . فقد يتضاعف فرق الضغط عبر مقاومة محددة إلى أربعة أضعاف في حالة تضاعف معدل السريان للهواء . وتناسب القدرة المطلوبة لتشغيل مروحة لتقليب هواء مباشرة مع معدل سريان الهواء والضغط . ونظراً لزيادة الضغط عبر قيد محدد إلى أربعة أضعاف في حالة مضاعفة معدل سريان الهواء وعلى وجود علاقة مباشرة بين القدرة بالحصان وسريان الهواء ، فإن القدرة بالحصان سوف تزداد بمعامل ٨ عند مضاعفة معدل سريان الهواء .

تطبيقات عملية على تصميم نظام تهوية

(PRACTICES IN VENTILATION SYSTEM DESIGN)

يتضمن تصميم نظام تهوية لمنشأة تخزين محصول بستاني الاعتبار التالية : ظروف وسط التخزين ، والتلف المؤثر على المنتج ، وأحجام تبادل الهواء ، ونظم توزيع الهواء ، وقرتيات التحميل ، والتكديس ، واختيار التجهيزات ، ونظم التحكم ، والتكاليف الاقتصادية .

الظروف البيئية للتخزين (Storage Environmental Conditions)

تعتمد ظروف وسط التخزين الموصى بها على نوع المنتج وظروف النمو المحلية واستخدام المنتج بعد التخزين . ومن الأساسيات العامة اللازمة والواجب مراعاتها حفظ المحصول عند درجة حرارة بحيث تقلل من معدل النتج وظهور الأمراض ونشاط التبرعم وفقد الوزن ، ولكن يجب أن لا يؤدي ذلك إلى انحذار جودة المنتج الداخلية أو تقليل نشاط البذور عند التخزين .

وتحتوي معظم المحاصيل البستانية على ٨٠٪ أو أكثر ماء ، كما تتم عمليات التسويق كلها على أساس الوزن الكلي الرطب . ويحاول مسؤولو التخزين نتيجة لذلك منع فقد ماء المنتج إلى أقل قيمة ممكنة . ويوصى حالياً بالمحافظة على رطوبة

نسبية لهواء الوسط وللمعظم المحاصيل في حدود من ٩٠ إلى ٩٥٪. ويصعب للغاية المحافظة على تلك الرطوبة النسبية في المخازن التجارية أثناء ظروف شتوية نتيجة للمشاكل الخاصة بالتكثيف على سطح المنتج والمخاطر المصاحبة لانتشار الأمراض إذا حدث تنقيط للماء على المنتج. وتستخدم منشآت ذات تصميمات خاصة مثل المخازن البتنة للحفاظ على رطوبة نسبية أعلى من ٩٥٪^(٤٨). وتكون أعلى رطوبة نسبية عملية بالنسبة لمخزن تجاري مبني جيداً من ٩٠ إلى ٩٥٪. ويتأتى ذلك عن طريق زيادة الرطوبة النسبية حتى بداية التكثيف على السقف أو حتى بداية ظهور سطح رطوبي على طبقة المحصول العليا.

التلف المؤثر على المنتج (Potential Produce Damage)

يعتبر توفير ظروف وسط تخزين ملائمة واختيار منتجات للتخزين ذات درجة نضج محددة وخالية من الأمراض والحدوش من أفضل طرق الإقلال من تلف منتج مخزن. وبالإضافة إلى ذلك، يجب ألا تتعرض المنتجات لتكوين طبقة ثلجية على السطح أو إلى أصابات برد قاسية. وغالباً ما تعامل جذور المنتج المخزن عملياً معاملة غير جيدة. فعلى سبيل المثال، نجد أن بروز المنتج عند مستوى أعلى من مستوى صندوق التخزين سوف يسبب خدوشاً على كل المنتجات الموجودة أسفله نتيجة للضغوط الواقعة عليه من جراء تكديس صندوق آخر على القمة دافعاً المنتجات في اتجاه لأسفل. ولا بد من تجنب التكثيف أو تساقط قطرات الماء على المنتج المخزن لعدة أسباب. فوجود طبقة مستمرة من الماء على سطح المنتج قد تعوق التنفس مسببة تغيرات واضحة في الأنسجة وإحداث بيئة مفضلة لنمو الفطريات والبكتريا.

أحجام التبادل الهوائي (Air Exchange Volumes)

لا بد من تبادل الهواء الخارجي البارد باستمرار مع الهواء الداخلي داخل المخزن لكي يتم التخلص من حرارة الحقل ومن حرارة التنفس المتولدة أثناء فترة التخزين. ويجب تبريد المحاصيل إلى درجة حرارة التخزين الموصى بها بسرعة

مكنة اقتصادياً بعد الحصاد. وقد تكون فترة التبريد المثلى ٢٤ ساعة، ولكن قد يتطلب نظام تبريد فعلي عدة أسابيع لكي يصل المنتج إلى درجة حرارة التخزين الموصى بها. ويحدد فترة التبريد الفعلية كل من: مدى فعالية تصميم وتشغيل نظام التبريد ومعدل تحميل المنتج والوزن الكلي المخزن والظروف الجوية، وسوف تتحدد كذلك فترة التبريد الفعلية كيفية تشغيل المنشأة ككل.

ويعتمد تبادل الهواء في المخزن بواسطة نظام تهوية على الحصول على كميات كافية من الهواء الخارجي البارد لخفض درجة حرارة حيز المخزن إلى المستوى المطلوب في التصميم. ولا يمكن تبريد المنتج بسرعة بعد الحصاد بواسطة التهوية إذا كانت الظروف الخارجية عبارة عن أيام وليالي خريف دافئة، وقد يحتاج النظام في بعض الأحيان إلى شهر لكي يصل إلى درجة الحرارة الملائمة. وقد تسبب التهوية المستمرة للتبريد أو للمحافظة على درجات حرارة داخلية أيضاً نوعاً من الصعوبة في المحافظة على رطوبة نسبية مرتفعة، وقد يحدث بعض التجفيف للمنتج. ويمكن - بمجرد الوصول إلى درجة الحرارة الموصى بها والوصول إلى نوعاً من الاتزان مع الظروف المحيطة بالمنتج - خفض معدلات التهوية على الأقل إلى الثلث عن طريق خفض سرعة المروحة أو التشغيل المتقطع للمروحة. ويعتمد النظام الأكثر شيوعاً للتشغيل المتقطع على مضروبوات أنصاف الساعات والساعات؛ فعلى سبيل المثال، ثماني ساعات تشغيل و١٦ ساعة إيقاف. ويعتمد التردد ودورة التشغيل على الارتفاع المسموح به لدرجة حرارة المنتج وعلى كمية التكثيف في المخزن.

نظم توزيع الهواء (Air Distribution Systems)

لابد من الأخذ في الاعتبار لتأثير أحجام الأنابيب في توزيع الهواء ومتطلبات الطاقة عند تصميم أي نظام تهوية. فلا بد من العودة إلى المراجع بالنسبة للمعلومات التفصيلية التي تتوافق مع الترتيبات الهندسية الجيدة. وتساعد القائمة التالية من الإرشادات العامة على الوصول إلى نظام توزيع هوائي كفء:

١ - تحديد سرعات الهواء بما لا يزيد على ٥ (م/ث) لتقليل فواقد الضاغط.

٢ - توفير مساحة كلية لمخرَج فعال لكل أنبوبة على الأقل من ٧٥ إلى ١٠٠٪ من مساحة مقطع مدخل الماسورة، وذلك للمحافظة على تصرف منتظم بطول الماسورة .

٣ - استخدام أقطار فتحات تصرف بالنسبة لنظم توزيع هواء الأرضية المثقبة بما لا يقل عن ٣٢ مم وعرض الفتحة على الأقل ١٣ مم لتجنب الانسداد بالأتربة والقاذورات وغيرها .

٤ - تحديد المسافات بين فتحات أنابيب الصرف بالنسبة لنظم الأرضيات المثقبة بما لا تزيد على ٣٠ سم بين بعضها البعض، وبما لا تزيد المسافات بين مراكز الأنابيب على ٣ م تقريباً .

٥ - المحافظة على سرعة عودة الهواء من الأجزاء الجانبية إلى المروحة عند ٥ (م/ث) أو أقل .

٦ - المحافظة على سرعة عودة الهواء من الحيز أسفل الغرفة عند حوالي ٢,٥ (م/ث) .

٧ - تركيب نظام الأنابيب ومواضع المراوح في غرفة التخزين في وضع متماثل .

٨ - الحد بقدر الإمكان من دورانات اتجاه سريان الهواء .

٩ - وتجنب بقدر الإمكان وضع المواسير بالقرب من أي دورانات أو عوائق في الحيز تحت الأرضية .

و يجب أن يقوم نظام توزيع الهواء بتزويد كميات متساوية من الهواء إلى المنتجات في كل المناطق في المخزن . وقد يسبب دفع المروحة لهواء خارجي تحت درجة التجمد إلى المخزن من خلال فتحة مدخل بدون الاستفادة من أنبوبة توزيع الهواء إلى تجمد المنتج الواقع بالقرب من فتحات الهواء مع ترك مناطق أخرى في المخزن دافئة .

ويمكن تركيب أنبوبة توزيع الهواء عند العصب المنخفض والمستخدم لتحميل سقف جَمَلُونِي أو ربطها مع العوارض التي تستخدم في تثبيت السقف . ويسمح

استخدام سقف عازل مفتوح بحركة هواء حرة من فتحات الأنابيب إلى أجناب المخزن. ويمكن أيضاً تركيب الأنابيب فوق السقف ثم توجيه تصرف الهواء إلى أسفل السقف باستخدام عواكس ملائمة. وعامة يكون للأنبوبة البلاستيكية المثقبة نفس القطر على مدى طولها المستخدم. ويمكن تقليل أو زيادة قطر الأنبوبة على أبعاد منتظمة للتوفير في المواد المستخدمة والمحافظة على اتزان سريان الهواء.

ويجب حماية فتحة الدخول الكلية بغطاء ضد الظروف الجوية المعاكسة، وخاصة الرياح العاتية التي قد تغير من سعة نظام التهوية. ويجب أن تحتوي مخارج الهواء من المبنى على نفس مساحة مقطع فتحات مداخل هواء المروحة. ويمكن أن تكون المخارج عبارة عن أبواب أو حواجز مبرمجة تعمل باستخدام أجهزة تحكم متصلة مع حواجز أو مثبتات مركبة على مداخل الهواء.

ومن الضروري قلب الهواء داخل المخزن بعدما يصل المنتج إلى درجة حرارة التخزين الموصى بها، وعندما لا يحتاج النظام إلى درجة حرارة الهواء الخارجية. ويشيع قلب للهواء مرتين يومياً بحد أدنى ٣٠ دقيقة في كل مرة توفير ظروف تخزين منتظمة. وتتغير الفترات الزمنية باختلاف أحجام التشغيل، ولكن عادة سوف يكون كافياً ضبط ساعة الدوام المستخدمة لتشغيل مروحة التهوية لإجهاز برنامج العاملين. وسوف يؤدي طرد بعض الهواء الداخلي إلى الخارج على فترات إلى التخلص من الغازات الضارة ونواتج التنفس من المخزن. ولا بد من التحكم في درجة الحرارة التصميمية خلال النظام للتأكد من عدم حدوث أي تجمد في الأجواء الباردة، كما لا يسمح بدرجات الحرارة داخل المخزن إلى الارتفاع لمستويات عالية للغاية إذا حدث عطل للتجهيزات الآلية وتم استخدام التحكم اليدوي. ويوجد لدى ظروف درجات الحرارة المرتفعة للغاية والمنخفضة كذلك تأثيرات ضارة على المنتج المخزن.

وسوف تعمل أنبوبة رأسية بنفس حجم أنبوبة توزيع الهواء الرئيسية والممتدة من المروحة إلى حوالي ٦، ١٠ م فوق الأرضية على سحب الهواء البارد من الأرضية ثم إعادة توزيعه فوق المنتج. ومن الضروري استخدام حواجز ومثبتات عند فتحات

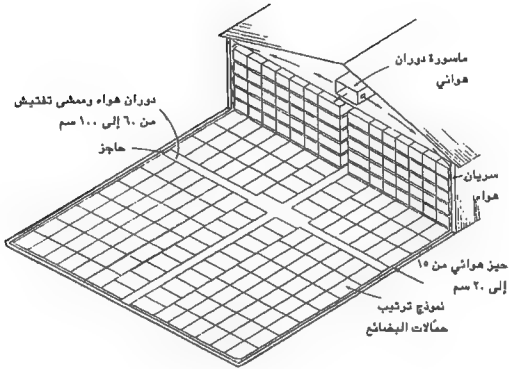
التهوية يتم التحكم فيها باستخدام الثرموستات ، وذلك لمساعدة تلك الوحدة في نظام معاملة الهواء . وتوجد تجهيزات تجارية متوافرة لهذا التطبيق .

ترتيبات التحميل والتكديس (Stacking and Loading Arrangements)

يجب ترتيب صناديق المنتجات داخل المخزن بطريقة تتيح أقصى تقليب للهواء مع سهولة التحميل والتفريغ والمتابعة البصرية للمنتج . وتتغير كفاءة استخدام المساحات من مخزن إلى آخر ؛ نظراً لوجود أعراض مخازن مختلفة ، وأيضاً بعض التغيرات في أحجام الصناديق المستخدمة بداخل المخزن .

و يجب ترتيب وضع البالات متوازية بطول الحوائط الجانبية للمبنى وعلى مسافات من ١٥ إلى ٢٠ سم بعيداً عن الحائط . و يتيح استخدام مصددة خشبية يعرض من ١٥ إلى ٢٠ سم في المنشآت الحديثة ومتصلة بالأرضية توفير تلك المساحة . ويمكن للهواء أن يتحرك خارجياً من أنبوبة التوزيع الرأسية عبر قمة البالات المكدسة ، ثم إلى أسفل من خلال الحيز بين الحائط والبالات والذي يشكل غرفة متهيلة لتوزيع الهواء بين صناديق البالات . ويتم صرف الهواء بعد ذلك بين مزلق صناديق البالات إلى الممر الرئيسي ، حيث يمكن إما طرد الهواء كلياً من المبنى أو تقلبيه من خلال نظام التهوية أو خلطه جزئياً مع هواء الجو الخارجي النقي ، وذلك اعتماداً على ظروف درجات الحرارة داخل المخزن . ولا يمكن وضع كل الصناديق بأبعادها الطويلة موازية للحائط نتيجة لمتطلبات الفراغات بين التجهيزات (أي توضيح صناديق البالات الأخيرة بزوايا مع الحوائط الجانبية لتوفير ممر مركزي في المخزن) .

و يجب أن يوجد عمشى أو عمر متعامد على الأقل مرة كل ٢٥ إلى ٣٠ م بطول المبنى ليسمح بمراقبة المنتج . ويجب أيضاً توفير حيز بارتفاع من ٦ ، ١٠ إلى ١ م فوق قمة البالات المكدسة للسماح بالتقليب الجيد للهواء إذا كان المخزن مسقوفاً . ويتوفر من هذا الحيز أيضاً جَمَكون سقفي مفتوح . و يوضح الشكل رقم (٣ ، ١٣) النظام الموصى باستخدامه .



شكل (٣، ١٣). نظام تهوية شائع الاستخدام مع منتج مخزن في صناديق مكدسة على نقالات خشبية.

اختيار التجهيزات (Equipment Selection)

يتكون نظام تبادل هوائي ميكانيكي من الأجزاء التالية:

- ١- مروحة أو أكثر.
- ٢- نظام توزيع الهواء.

٣ - مدخل هواء يتم التحكم فيه سواء باستخدام ثرموستات أو يدوياً، وكذلك مخرج هواء مناظر .

٤ - نظم تحكم في درجة الحرارة والوقت المطلوب لنظام تشغيل المراوح .

٥ - نظام ترتيب ملائم لصناديق البالات المكسدة للحصول على توزيع وتقليب جيد للهواء .

ويمكن استخدام مروحة سواء مع نظام التهوية الضاغط أو الطارد . ويجب اختيار مروحة تصنيف (AMCA) على أساس سعتها الحجمية الطاردة بالنسبة لضغط إستاتيكي معلوم بدلاً من البحث عن عدد الريش المناسبة أو القطر أو التكاليف . و يجب اختيار المروحة ذات كفاءة تشغيل مرتفعة، بحيث يمكن توفير الطاقة وخفض تكلفة التشغيل . ويمكن أخذ مستوى الضوضاء في الاعتبار عند الاستعمال في المناطق المزدحمة بالسكان .

ويجب تركيب المروحة وماسورة توزيع الهواء فوق المنتج، بحيث يسمح بمرور هواء التبريد من فوق وحول ومن خلال المنتج . ويجب اختيار سعة المروحة المطلوبة أو معدل السريان الحجمي على أساس سعة المروحة عند الضاغط الاستاتيكي المطلوب . ويعتمد الضغط المطلوب الذي سوف تقوم المروحة بتطويره على حجم فتحة مدخل الهواء وأنبوية التوزيع وشكل مخرجها الهوائي وحجم مخرج الهواء من المخزن (الطرد) وخصائص أداء نوع المروحة . ويتم عادة دفع الهواء في حالة التخزين المتراكم تحت المنتج؛ أي لا بد أيضاً من أخذ مقاومة الحمل المتراكم الاستاتيكية لسريان الهواء في الاعتبار عند حساب الضاغط الإستاتيكي المطلوب . ولن تؤدي المروحة المطلوب منها إذا كانت مركبات النظام الأخرى ذات أحجام أقل من المطلوب . فلا بد من وجود مركبات مترنة لدى نظام معاملة الهواء - متضمناً المروحة- للتأكد من دفع معدل الهواء المطلوب .

ويجب أن تساوي مساحة مقطع مداخل هواء المروحة واحد متر مربع لكل ٥ (م^٣/ث) من الهواء المدفوع أو المطرود من النظام . ويجب تركيب الحواجز والمثبتات

والأبواب التي تعمل بالكهرباء على مداخل المراوح للتحكم في كمية الهواء الداخل. ويمكن غلق المداخل كلياً عند عدم تشغيل المراوح؛ نظراً لانخفاض كمية الهواء الخارجي المطلوبة عند اقتراب المخزن من درجة الحرارة التصميمية المطلوبة، (فعلى سبيل المثال، يتم الغلق في الأجواء شديدة البرودة لمنع التجمد أو عند الوصول إلى درجة الحرارة التصميمية).

أجهزة التحكم (Controls)

تتوافر في الأسواق أجهزة التحكم في تشغيل المراوح والخاصة بضبط درجة الحرارة (الثرموستات)، كما تستخدم في التحكم في عملية خلط هواء المخزن الدافئ مع هواء خارجي بارد. ويعتبر ذلك مرغوباً خاصة عندما تكون درجة الحرارة الخارجية أقل من درجة حرارة التخزين الموصى بها، وذلك لتقليل مخاطر التبريد أو التجميد للمنتج المخزن.

وتتكون أقل الأجهزة المطلوبة لتشغيل المروحة آلياً من وحدة تحكم في درجة حرارة ومفتاح تشغيل-إيقاف. وقد يستخدم أيضاً ثرموستات لضبط الحواجز الهوائية التي تعمل كهربائياً. ويجب ضبط نسبة الهواء البارد الداخل إلى المخزن- يدوياً أو آلياً- بمجرد اقتراب درجة حرارة المخزن من مستوى درجة الحرارة المرغوبة. ويجب استخدام ساعة دوام للتحكم في دورة قلب الهواء داخل المبنى بعد وصول بيئة المخزن إلى درجة حرارة التشغيل التصميمية.

ويمكن أيضاً إنشاء نظام تجميبي يستخدم الثرموستات ومحرركات كهربائية للمثبتات، وذلك للتحكم آلياً في خلط كل من الهواء الداخلي والخارجي. ويعتبر ذلك النظام من أكثر النظم المرغوبة خاصة إذا كان يصعب دمج التوقعات الترددية وعمليات الضبط اليدوية والضرورية لنظام التهوية مع أسلوب إدارة نظام التخزين.

مثال عن نظام تهوية الكرنب

(CABBAGE VENTILATION SYSTEM EXAMPLE)

الموقع (Situation)

تخزن نسبة كبيرة من محصول الكرنب أواخر الخريف في الولايات الشمالية ثم تباع في الشتاء وبداية الربيع، ويتنافس في ذلك مع المحصول الطازج من الولايات الجنوبية في أواخر الشتاء. ومن الضروري توفير ظروف بيئية متحكم فيها ومخازن معدة جيداً من ناحية التصميم والإدارة، وذلك للتأكد من الإمداد المستمر من الكرنب الطازج إلى السوق وللإستعمالات المختلفة أثناء تلك الفترة الطويلة.

وتتنوع المخازن المستخدمة من منشآت تستعمل كميات قليلة من المواد العازلة مع باب مفتوح والتبريد بواسطة حركة هواء بالحمل الطبيعي إلى منشآت مبردة ومعزولة جيداً مع وسط يتم التحكم فيه. ويمكن مد فصل تخزين الكرنب تحت أقل ظروف تحكم بيئي إلى يناير، ومع أقصى ظروف تحكم بيئي حتى مايو أو يونيو.

وتكون درجة حرارة تخزين الكرنب المثلى صفر[°]م. ويعتبر مدى درجة حرارة تخزين من صفر إلى ٢[°]م مناسباً للتشغيل مع تفضيل استخدام القيمة الصغرى لذلك المدى. وسوف يتجمد الكرنب إذا وصلت السوائل داخل الخلايا إلى درجة حرارة حوالي - ١[°]م، وقد يسبب ذلك تلفاً للمنتج المسوق.

ويجب المحافظة على درجة الحرارة صفر[°]م بانتظام في المخزن بواسطة نظام تحكم بيئي. فلابد من إضافة وحدة تحكم في درجة الحرارة خاصة بأمان المنتج للتأكد من أن درجة حرارة الهواء الخارجي أو الهواء المبرد ميكانيكياً خلال المخزن لا يتسبب في تجمد الكرنب. وقد يتطلب الأمر بعض وسائل التدفئة للمخزن في حالة انخفاض درجة حرارة الهواء الخارجي للغاية مع عدم وجود مواد عازلة على المخزن أو إذا كان المخزن ممثلاً جزئياً في جو قارص البرودة. فقد تكون كمية الحرارة المتولدة بالتنفس في تلك الحالات غير كافية للمحافظة على درجة حرارة المخزن المطلوبة، وقد يحدث تجمد للكرنب.

ويجب المحافظة على رطوبة نسبية مرتفعة (من ٩٠ إلى ٩٥٪) في الهواء الطبيعي داخل المخزن. ولكن نظراً لطول عمر الكرب، فإن بعض الكائنات الحية الفاسدة قد تزدهر وتنشط حتى عند نسبة رطوبة مرتفعة ودرجة حرارة منخفضة.

ويقترح استخدام معدل سريان حجمي $0.13 \text{ م}^3/\text{ث}$ لكل 1000 كجم من الكرب كدليل تصميمي لنظام التهوية للكرب المخزن في صناديق. وقد تم الحصول - عند حساب معدل التهوية الكلي المطلوب لمخزن ممتليء بصناديق من الكرب بناءً على تبادل حجم هواء المخزن (فارغ) كلياً مرة كل ٥ دقائق (أي اثنتى عشرة مرة في الساعة) - على نفس النتائج كما لو تم استخدام التوصية $0.13 \text{ م}^3/\text{ث}$ لكل 1000 كجم .

مثال تطبيقي (Application Example)

مبنى بطول ٣٠ م وعرض ١٥ م وارتفاع ٦ م مكثس بصناديق بارتفاع خمسة أمتار ويستخدم لتخزين حوالي ٨٦٠٠٠٠ كجم من الكرب. احسب معدل التهوية الكلي المطلوب؟

الحل.

يتم حساب معدل التهوية الكلي على أساس حاصل ضرب 860000 كجم من الكرب في $0.13 \text{ م}^3/\text{ث}$ لكل 1000 كجم من الكرب، بالنسبة لمروحة ذات دفع كلي $11 \text{ م}^3/\text{ث}$ عند ضغط استاتيكي ٧٥ باسكالاً. ويتطلب ذلك أنبوبة توزيع مركزي (٨، ٢×١، ١) م متصلة بماسورة مساحة مقطعها (٢، ١ × ٣، ٠) م وممتدة تقريباً ٢٩ م داخل المخزن. لاحظ أن اختيار مساحة مقطع الماسورة اعتمد أساساً على الحد من سرعة الهواء إلى $5 \text{ م}^3/\text{ث}$ أو أقل. ويجب ملاحظة وجود أربعة وعشرين مخرجاً أنبوبياً (٢٥ × ٣٠) سم موزعة على مسافات ١، ٢ م من المركز على كل من جانبي الماسورة. ويعتمد حجم المخرج على الحصول على سرعة خروج نافورة هوائية $5 \text{ م}^3/\text{ث}$ لإحداث حركة للهواء صوب الحوائط الجانبية للمخزن. ويكون لدى الماسورة الرأسية والممتدة من المروحة إلى أرضية

المخزن مساحة مقطع (٢, ١, ٨ × ١) م، وتمتد إلى أسفل حتى حوالي ٦٠ سم من الأرضية.

ويجب ضبط نظام التحكم في درجة الحرارة ليسمح للمروحة بالعمل في أي وقت ترتفع فيه درجة حرارة الهواء الداخلي عن درجة حرارة الهواء الخارجية، ولكن فقط في حالة ما إذا كانت درجة حرارة المخزن أعلى من درجة الحرارة التصميمية. ويجب أن يوجد ثرموستات آخر يتحكم في محركات كهربائية خاصة بفتح أو ضبط الحواجز الداخلية للسماح بكمية منتظمة من الهواء الخارجي البارد بالدخول إلى المخزن عند الحاجة. وتتضمن المنشأة أيضاً ثرموستاتاً يركب بالقرب من مستوى الأرضية للتأكد من أن درجة حرارة الهواء في المبنى لا تقل عن صفراً. ويجب أن توجد أيضاً ساعة ميقات كجزء من نظام التحكم الكهربائي لتزويد فترتين (٣٠ دقيقة/ فترة) على الأقل في اليوم لتقليب هواء المخزن عندما يصل النظام إلى درجة الحرارة التصميمية المترنة، وعندما يتم إيقاف المراوح باستخدام أجهزة التحكم في نظام التهوية.

ولابد أن يتم ضبط تزامن حواجز مخارج الهواء - والتي يتم التحكم فيها كهربائياً - لتفتح عند أي وقت يتم فيه فتح حواجز المداخل. ولا يتطلب الأمر أي مراوح إضافية للتخلص من هواء المخزن. ولا توجد أيضاً ضرورة لوجود مراوح مزدوجة (نظم دفع/ سحب) تعمل لحظياً على دفع هواء من أو إلى المخزن.

مثال عن نظام تهوية البطاطس

(POTATO VENTILATION SYSTEM EXAMPLE)

الموقع (Situation)

تكون درجة حرارة التخزين الموصى باستخدامها في فترة إشباع جذران الخلايا بالسُّبْرين ونحويلها إلى فلين - أو ما يطلق عليها بعملية السُّبْرنة - لكل البطاطس من ١٠ إلى ١٥ °م. ويشكل هذا المدى أيضاً التوصية لرعاية تقاوي البطاطس السابقة التقطيع^(٣٩).

و يعتبر مدى درجات الحرارة من ٨,٩ إلى ١١,٧ م^٣ مرضياً لكافة الاستخدامات لفترة تخزين لا تزيد على ثلاثة شهور . وتنتهي فترة السكون - والتي لا يحدث إنبات خلالها - إذا طالت الفترة عن ذلك أو ارتفعت درجة الحرارة^(١١) . ونظراً لأن عملية الإنبات تحتاج إلى سطح ذي نفاذية عالية للغاية ، فإنه سوف يتبع عملية الإنبات فقد كبير للرطوبة . ويكون مدى درجات الحرارة الموصى باستخدامه لتقايي البطاطس وبطاطس المائدة لفترة تخزين طويلة من ٣,٣ إلى ٧,٢ م^٣ . وعامة تُحفظ تقايي البطاطس عند النصف المنخفض من هذا المدى ، بينما تحفظ بطاطس المائدة عند النصف المرتفع^(١٢) . وتكون القدرة على احتمالات خفض السكريات ، بالنسبة لتصنيع رقائق البطاطس ، أكثر صرامة من أي شكل من أشكال العمليات الأخرى . ويوصى عامةً باستخدام درجة حرارة تخزين في المدى من ١٠ إلى ١٢,٨ م^٣^(١٣) .

وقد وجد (Schipper) ، من بين العديد من الباحثين ، أن أكثر الأشياء ضرراً أثناء فترة تطور السبرنة والأدمات المحيطة هو الارتفاع الكبير في الرطوبة النسبية^(١٤) . ولا تبدو الرطوبة النسبية المرتفعة في فترات التخزين بعد ذلك حرجية ، حيث لا بد وأن تحتفظ المنشأة بانحدار حراري أكبر ، وبناءً عليه التعرض بمعدل أكبر لعملية تكثيف سطحي^(١٥) .

وتكون التوصية التصميمية المستخدمة حالياً لمعدل سريان الهواء أثناء التبريد كالتالي : استخدام من ٠,٢٦ إلى ٠,٣٨ م^٣ / (كجم . ساعة) للحفاظ على درجات حرارة أقل من ١٠ م^٣ ؛ واستخدام من ٠,٣٨ إلى ٠,٥٦ م^٣ / (كجم . ساعة) للحفاظ على درجات حرارة أعلى من ١٠ م^٣ . إما إذا وجدت ظروف قاسية مثل بطاطس حقلية مجمدة أو جذور بكتيرية غير متصلة والتي يتولد عنها ماء حر في الكومة ، فإن التحكم يكون أفضل عند استخدام معدل سريان ١١٣ م^٣ / (كجم . ساعة) عن المعدل ٠,٣٨ م^٣ / (كجم . ساعة)^(١٦) .

و تعطي معدلات السريان الحالية والموصى باستخدامها سرعات هواء بين فرجات البطاطس حوالي ١ ، ٠ من السرعات المستخدمة عامة في التبريد الهوائي - المدفوع إلى الفاكهة والخضر . وتعتمد عملية تحويل معدلات الهواء لوحدة الأوزان إلى سرعات بين الفرجات على كثافة بطاطس ٦٧٣ كجم لكل م^٣ ومساحة سريان

يُفَرَّجَة تعادل ٢٥٪ من مساحة الأرضية.

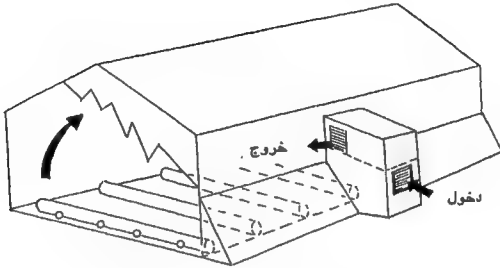
مثال تطبيقي (Application Example)

سوف يتم تصميم نظامين للتهوية لخزان ٣٠,٥ م طولاً و ١٢ م عرضاً في ٥,٥ م ارتفاعاً. يستخدم أحد النظم يرابخ معرّجة من الألومنيوم، وذلك كما هو شائع في الولايات المتحدة الغربية. ويستخدم النظام الآخر خنادق أرضية وتنسيق مثلي للأنابيب بطول الخواطر، وذلك كما هو شائع في الوسط الغربي والشرقي. وسوف يتم استخدام عمق عمليّ منظم حوالي ٥ م. ويستخدم حجم سريان هوائي كلي ١٣ (م^٣/ث) بناء على معدل سريان للهواء ١٣٨ م^٣/ (كجم. ساعة).

١ - نظام غربي (Western System) (انظر الشكل رقم ٤, ١٣)

تركب المروحة عادة في النقطة المتوسطة من طول الخزان بطول أحد الحوائط الجانبية. و يفرض مساحة حيز للمروحة ١,٥ متر مربع، فإنه سوف تكون الحاجة إلى أنبوتي تزويد هواء رئيسية. وتستخدم البرابخ المعرّجة والمصنوعة من الألومنيوم كأنايب جانبية تمتد إلى الخزان في اتجاه متعامد على أنبوتي التزويد الرئيسيتين. وتمتد تلك البرابخ أيضاً إلى حوالي ١ م من الحائط الجانبي المقابل. ويوجد، بالإضافة إلى فتحات التصريف النصف قطرية فتحات أخرى تم إحداثها في نهاية الأغصية لتلك البرابخ بحيث يتم صرف الهواء في اتجاه الحائط الجانبي المقابل.

وسوف نقوم كل أنبوبة من الأنبوتين الرئيسيتين بتزويد ٦,٥ (م^٣/ث) بالنسبة لمعدل سريان هوائي كلي ١٣ (م^٣/ث). وتكون مساحة مقطع كل أنبوبة ٢,٥٧ م^٢، وذلك مع فرض سرعة تصميمية ٢,٥ (م^٣/ث). ويمكن تقليل مساحة مقطع كل أنبوبة تزويد كلما بُعِدَت المسافة من المروحة؛ نظراً لانخفاض كمية الهواء للحمول نتيجة الصرف من الأجانب.



شكل (٤، ١٣). نظام تهوية شائع الاستخدام حرب الولايات المتحدة

ويتم استخدام أحد عشر برينخاً جانبياً بالنسبة لخزان طوله ٣٠,٥ م على مسافات ٣ م. ويؤخذ ذلك الرقم من البرابنخ في الحساب الحصول على صرف جانبي مجاور لكل حائط نهائي لحفض تأثير درجات الحرارة الخارجية على كل من الحائط النهائي وأساس أو قاعدة المخزن. وسوف يدفع كل برينخ حوالي ١,٢ (م^٣/ث). ومجدد- بالنسبة للسرعة المسموح بها ٥ (م/ث)- أن مساحة المقطع المطلوبة تكون ٢٣٣٠ سم^٢، والتي يمكن الحصول عليها باستخدام أنبوبة ذات قطر ٥٤,٥ سم.

وتكون مساحة التصريف الكلية الموصى بها لكل برينخ ١٧٤٨ سم^٢، والتي تعادل ٧٥٪ من مساحة مقطع مدخل الأنبوبة. ونظراً لأن قطر الفتحة ٣٨ سم شائع الاستخدام ويزود مساحة تصرف ١١,٣ سم^٢، فإن عدد الفتحات المطلوبة لكل برينخ يكون ١٥٥ فتحة. ويتم إحداث فتحات مزدوجة على مسافات متساوية بطول الأنبوبة وبزاوية ميل ٤٥ درجة على كل جانب رأسي. ونظراً لقرب تلك الفتحات من الأرضية في قاع الأنبوبة، فقد تسبب البطاطس الصغيرة في حدوث انسدادات

لتلك الفتحات . وتوجد الفتحات الجانبية على مسافات ١٥,٦ سم وفي المراكز . وسوف يوجد- مع بربخ بطول ١١ م وفتحات على مسافة ١٥ سم-٧٤ فاصل يعطي ١٤٨ فتحة في البربخ وثمان فتحات عند الغطاء النهائي .

وتكون مساحة المقطع المطلوبة عند منطقة الدوران ٢,٦ م^٢ بالنسبة لسرعة هواء ٥ (م/ث) .

وسوف يكون لدى نظام التهوية الكلي مع مناطق الدوران والمشبطات وغيرهما عند السرعات المقترحة ضغط استاتيكي تشغيلي حوالي ٣١٠ باسكال . وسوف يكون ضغط التشغيل الكلي أعلى إذا تمت تغذية كل الهواء مباشرة من خلال ملفات مبخّر .

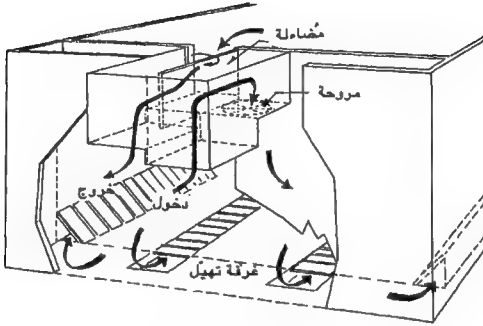
٢- النظم الشرقية والغربية المتوسطة (Midwest and Eastern Systems)

(انظر الشكل رقم (٥, ١٣))

تركب المروحة في نقطة منتصف أحد الحوائط النهائية . وتبنى غرفة هوائية بعرض النهاية الكاملة للخزان . وتُربط الألواح الأردوازية بمسامير مع بعضها أفقياً ثم تمال في اتجاه كل حائط جانبي بطول ٣٠,٥ م لتشكيل أنبوبة ذات شكل مثلثي . وعادة ما تدفن الأنابيب الداخلية في الأرضية . وتمتد كل الأنابيب بالطول الكلي للخزانات (٣٠,٥ م) .

وتكون مساحة المقطع المطلوبة للغرفة الهوائية بالنسبة لسرعة سريان ٢,٥ (م/ث) هي ٥,١ م^٢ ، وتلك الوسيلة يكون عرض الغرفة الهوائية المطلوبة ٤,٢ م بالنسبة لعرض خزان ١٢ م . وعادة ما يتم إنشاء تلك الغرف بعرض حوالي ١ م لتوافق هيكل المروحة والسماح للأفراد بسهولة الحركة إلى أجهزة التحكم في كل من التهوية والرطوبة والدفايات والإضاءة .

ويحتاج ذلك النظام إلى خمسة أنابيب على مسافات ٣-م . ويتطلب الخزان ثلاثة خنادق أرضية ٣ م من المركز وأنبويتين عند الحائطين الجانبيين . ويزود كل خندق هواء لكل ٣ م من عرض الخزان ، كما تزود كل أنبوبة حائط هواء لكل ١,٥ م من



شكل (١٣، ٥). نظام تهوية شائع الاستخدام في الوسط-الغربي للولايات المتحدة

عرض الخزان. وتكون مساحة المقطع ومعدل السريان لكل خندق من الخنادق الثلاثة ٦٤، ٥ م^٢ و ٣، ٢٥ (م^٣/ث) على الترتيب. ويكون أكبر عرض للخندق بحيث يسمح بمد لوح خشبي ثقيل بسبك ٦، ٧ سم على هيئة جسر بدون السقوط حوالي ٧٦ سم. وتكون الحاجة إلى خندق بعمق ٨٥ سم وعرض ٧٦ سم عند نهاية المدخل. ويمكن خفض العمق ٨٥ سم تدريجياً مع استمرار صرف الهواء بطول الأنبوية.

وتغطي الفتحات الموجودة مع هذا النوع من الأنابيب بالبطاطس. وتوضح البيانات الحقلية^(٤٥، ٤٤) أن ٦٥ إلى ٧٥٪ من مساحة الفتحة تنسد بالبطاطس وتصبح مساحة التصريف الفعالة من ٢٥ إلى ٣٥٪ من المساحة التي تم إنشاؤها في البداية. وبناءً على تلك الحسابات، فإنه يفترض أن ٧٠٪ من مساحة الفتحة سوف تنسد بالبطاطس.

وتكون مساحة التصريف الفعّالة من كل خندق أرضي - بناءً على ٧٥٪ من مساحة المقطع - ٤٨، ٠ م^٢. وتكون مساحة التصريف المطلوبة ٦، ١ م^٢ على اعتبار نسبة انسداد البطاطس ٧٠٪. إن الاستخدام للألواح الخشبية التي على هيئة جسور - حوالي ٦، ٢٨ سم عرض مع فتحة ٥٤، ٢ سم - سوف يعطي فاصلاً مفتوحاً ١، ٣١ سم، وبذلك الوسيلة يكون عدد الفتحات المطلوبة ٩٦ فتحة مساحة كل منها ١٦٧ سم^٢. ويكون طول الفتحة المطلوب ٦، ٦٥ سم لكل عرض للفتحة ٥٤، ٢ سم. ونظراً لأن عرض الخندق ٧٦ سم، فإن استخدام سمك ٥٤، ٢ سم في مبادعة طويلة ٥ سم بين الألواح الخشبية عند كل نهاية سوف يعطي مساحة الفتحة المطلوبة. وتكون مساحة المقطع ومعدل السريان لكل من الأنبوبتين المثلثتين على الحوائط الجانبية ٣ م^٢ ١، ٦ (٣/٢) على الترتيب. وتعتمد تلك الحسابات على أساس أن مواسير الحوائط الجانبية تعامل ٢٥٪ من معدل سريان الهواء الكلي.

وعامة يتم إنشاء تلك المواسير بحيث يشكل الوجه المائل - وتر المثلث - من الماسورة مثلاً ذا نسب ٣ : ٤ : ٥ لكل من القاعدة: الارتفاع: الوتر. وتولد عن تلك النسب بالنسبة للبطاطس قوى ضغط متوازنة تمنع انزلاق الأنابيب عندما تكون مغطاة بالبطاطس. ويأتي استخدام ٦٩ سم للقاعدة و ٩٢ سم للارتفاع قريباً للمساحة والنسبة الهندسية المرغوبة، وذلك عندما تكون المساحة ٣٢، ٠ م^٢. وتكون الحاجة إلى وتر للمثلث ١٥، ١ م.

وتكون مساحة مقطع التصريف الفعّالة ومساحة مقطع التصريف التي تم إنشاؤها ٢٤، ٠ و ٨، ٠ م^٢ على الترتيب. وينتج عن استخدام ٥ سم في ٣٠ سم للألواح الخشبية مع عرض للفتحة ١٣ م مسافة للفتحات ٧، ٢٨ سم. ويكون عدد الفتحات المطلوبة ٧، ١ مع مساحة فتحة ٧٤، ٧ سم^٢. ويكون طول الفتحة المطلوب ٨، ٩ سم بالنسبة لعرض فتحة ٢٧، ٠.

ويكون طول وتر المثلث المطلوب للماسورة ١٥، ١ م، وعليه فإنه لا بد من إزالة ٥٦ سم من الوتر للحصول على طول فتحة صحيحة. وتعتبر منطقة الدوران هي نفس منطقة الدوران في المثال السابق.

و يكون لنظام التهوية الكلي عند سرعات مقترحة ضغط تشغيل إستاتيكي كلي ١٩٠ باسكالاً. ولم يؤخذ تأثير ملفات المبخر في الاعتبار عند حساب ذلك الضغط.

و تزداد الضغوط الإستاتيكية لنظام التشغيل إذا وجدت الأتربة والمواد الغريبة في الخزان. وعامة نجد أن البطاطس النظيفة والتي بدون براعم لها نفس مقاومة سريان الهواء لكيزان الذرة النظيفة. أما البطاطس ذات البراعم أو القدرة للغاية أو الاثنين معاً، فإن لها مقاومة ماثلة لمقاومة الذرة المفروطة (المنزوعة الكيزان). ويكون نظام توزيع الهواء العامل الأساسي في المقاومة الكلية في المخازن التجارية النظيفة نسبياً. وعمودياً، تكون مقاومة المنتج من ٥ إلى ١٠٪ من مقاومة النظام الكلي. وتكون نظم التحكم والمبثبات المستخدمة في مخازن البطاطس ماثلة لتلك التي تستخدم في مخازن الكرنب.

المراجع

1. Mitchell, F. G., R. Guillou and R. A. Parsons. 1972. Commercial cooling of fruits and vegetables. California Agr. Exp. Station Manual 43, Berkeley, California.
2. Lutz, J. M. and R. E. Hardenberg. 1977. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. U.S. Dept. Agr., Agr. Hdbk. No. 66.
3. Commitment to excellence in the shipment of perishable commodities. 1980. Sea-Land Service, Inc., Elizabeth, New Jersey.
4. Rath, E. 1972. Effects of reverse direction air flow, semi-controlled outside air and semi-controlled relative humidity on respiring perishable commodities. ASHRAE Sym. on Long Haul Transportation of Respiring Perishable Commodities in Refrigerated Containers, pp. 10-13.
5. Holdsworth, S. D. 1970. Heat and mass transfer in the low temperature preservation of food. Int'l. Inst. of Refrigeration. 1970-3 Bulletin, pp. 47-62.
6. Gac, A. 1956. Contribution to the study of the influence of relative humidity and of the rate of circulation of air on the behavior of harvested fruit. La Revue Generale Du Froid, Vol 33:365-379, 505-531, 733-744, 833, 843, 963-979.
7. Wilkinson, B. G. 1965. Some effects of storage under different conditions of humidity on the physical properties of apples. J. Hort. Sci. 40:58-65.
8. Sastry, S. K., C. D. Baird, and D. E. Buffington. 1978. Transpiration rates of certain fruits and vegetables. ASHRAE Trans. 84(2):237-255.
9. Gentry, J. P. 1970. A procedure for rapidly determining transpiration rates and epidermal permeabilities of fruits. Ph.D. thesis. Michigan State University, East Lansing, MI.
10. Dypolt, D. J. 1972. Determination of transpiration rates of green peppers. M.S. thesis. University of Florida, Gainesville.
11. Talbot, M. T. 1973. Transpiration rates of snap green beans. M.S. thesis. University of Florida, Gainesville.
12. Sastry, S. K. and D. E. Buffington. 1982. Transpiration rates of stored perishable commodities: a mathematical model and experiments on tomatoes. ASHRAE Trans. 88(1):159-184.
13. Pieniazek, S. A. 1942. A study of factors influencing the rate of transpiration of apple fruits. Ph.D. thesis. Cornell University, Ithaca, New York.
14. Appleman, C. O., W. D. Kimbrough and C. L. Smith. 1928. Physiological shrinkage of potatoes in storage. Bull. 303, Maryland Agr. Exp. Sta., pp. 159-175.
15. Karmarkar, D. V. and B. M. Joshi. 1942. The relation of the size of the fruit to the loss of weight in storage. India J. Agr. Sci. 10(6):1021-1029.
16. Apleand, J. and H. Baugierod. 1971. Factors affecting weight loss in carrots. ACTA Hort. No. 20:92-97.
17. Villa, L. G. 1973. Single particle convective moisture loss from horticultural products in storage. Ph.D. thesis. Michigan State University, East Lansing.
18. Pieniazek, S. A. 1943. Maturity of apple fruits in relation to rate of transpiration. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 42:231-237.
19. Marie, E. C. 1964. Effect of fruit structure and temperature on water loss. Proc. Fruits and Vegetable Perishables Handling Conf., University of California, Davis, pp. 63-64.
20. Leonard, E. R. 1941. Studies in tropical fruits. Preliminary observations on transpiration during ripening. Ann. Bot., London, Vol. 5:89-119.
21. Gac, A. 1971. Equations on weight loss as function of relative humidity. Weight losses in cold storage products (in French) 57(11): 907-914.

22. Robinson, J. E., K. M. Browne and W. G. Burton. 1975. Storage characteristics of some vegetables and soft fruits. *Ann. Appl. Biol.* Vol. 81:399-408.
23. Sastry, S. K. and D. E. Buffington. 1960. Transpiration rates of stored tomatoes under various environmental conditions. ASAE Paper No. 80-4524, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
24. Buffington, D. E. and S. K. Sastry. 1982. Methodology for determining the most economic storage conditions for tomatoes. *Int'l. J. of Refrigeration* (in press).
25. Goddard, W. F. 1972. Air distribution—the common denominator. ASHRAE Sym. on Long Haul Transportation of Respiring Perishable Commodities in Refrigerated Containers, pg. 5-9.
26. Ryall, A. L. and W. T. Pentzer. 1967. The relation of air movement, container type, and load arrangement to the cooling rate of fruits and vegetables. *Proc. of 12th Int'l. Congress of Refrigeration*, Vol. 3:87-92.
27. Fisher, D. V. 1960. Cooling rates of apples packed in different containers and stacked at different spacings in cold storage. *Proc. of ASHRAE Annual Meeting*.
28. Truscott, J. H. L. 1962. Ventilation of fruit containers to facilitate cooling. *Proc. Sym. on Standardization of Packaging for Fruits and Vegetables*, Wageningen, Netherlands.
29. Guillou, R. 1960. Coolers for fruits and vegetables. *California Agr. Exp. Station Bulletin* 773, Berkeley, CA.
30. Sainsbury, G. F. 1961. Cooling apples and pears in pallet boxes. U.S. Dept. of Agr. Marketing Research Report 474.
31. Patchen, G. O. and G. F. Sainsbury. 1962. Cooling apples in pallet boxes. U.S. Dept. of Agr. Marketing Research Report 532.
32. Salinsbury, G. F. and H. A. Schomer. 1957. Influence of carton stacking patterns on pear cooling rates. USDA Marketing Research Report 171.
33. Lloyd, J. W. and S. W. Decker. 1934. Factors influencing the refrigeration of packages of apples. *Illinois Agr. Exp. Station Bull.* 410.
34. Hinsch, R. T., R. H. Hinds, and W. F. Goddard. 1978. Lettuce temperatures in a van container with a reverse airflow circulation system. USDA Marketing Research Report 1082.
35. Gaffney, J. J. 1977. Engineering principles related to the design of systems for air cooling of fruits and vegetables in shipping containers. *Proc. 29th Int'l. Conf. on Handling Perishable Agricultural Commodities*, Michigan State University, East Lansing.
36. Lentz, C. P., L. Van den Berg, E. G. Jorgensen and R. Sawler. 1971. The design and operation of a jacketed vegetable storage. *Canadian Inst. of Food Technology J.* 4(1):19-23.
37. Lund, B. M. and A. Kelman. 1977. Determination of the potential for development of bacterial soft rot of potatoes. *Amer. Potato J.* 54(5):211-225.
38. Furry, R. B., F. M. R. Isonberg and M. C. Jorgensen. 1981. Post harvest controlled atmosphere storage of cabbage. *Cornell University, Agr. Expt. Station, Ithaca, NY*, No. 19, p. 1-17.
39. Leach, S. S., D. E. Hudson, J. H. Hunter, E. F. Johnson, and J. B. Wilson. 1975. Precurt seed potatoes for higher quality seed and greater returns. Marketing Research Report No. 1035, U.S. Dept. of Agr. Washington, D.C.
40. Wright, R. C. and T. M. Whiteman. 1949. The comparative lengths of dormant periods of 35 varieties of potatoes at different storage temperatures. *Amer. Potato J.* 26(9):330-335.
41. Schippers, P. A. 1971. The influence of curing conditions on weight loss during storage. *Amer. Potato J.* 48(8):278-286.
42. Schaper, L. A. and D. E. Hudson. 1971. Biological and engineering factors affecting white potato losses in storage. ASAE Paper No. 71-377, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
43. Hunter, J. H. and J. B. Wilson. 1969. Use of forced air ventilation to control wet breakdown of field-frosted potatoes in storage. *Maine Agr. Exp. Station Bulletin* 670, University of Maine, Orono.

44. Cloud, H. A. and R. V. Morey. 1980. Distribution duct performance for through ventilation of stored potatoes. TRANSACTIONS of the ASAE 23(5):1213-1218.

45. Schaper, L. A., H. A. Cloud, and D. Lundstrom. 1976. An engineering evaluation of potato storage ventilation system performance. TRANSACTIONS of the ASAE 19(3):584-590.

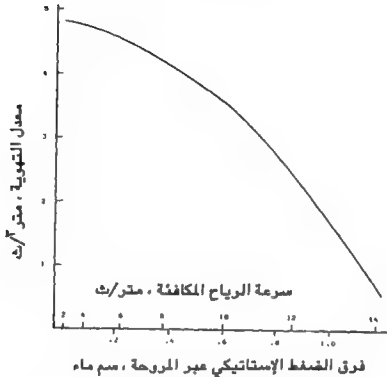
التهوية - طاقة واقتصاديات*

(VENTILATION-ENERGY AND ECONOMICS)

- التهوية المثلى - تصميم وإدارة • حدود عمل
تجهيزات نظم التهوية - تصميم وإدارة

يتطلب الوصول إلى أفضل تصميم في نظم التهوية الزراعية بالنسبة لتوفير الطاقة عدة اعتبارات هي: (أ) كفاءة المراوح والمحركات الكهربائية، (ب) تأثير التغيرات الجوية على معدلات وأنماط دفع الهواء، (ج) تأثير معدلات التهوية وكثافة التكديس على أحمال التدفئة أو التبريد المطلوبة، (د) تأثير معدل التهوية وطرق توزيعها على الأداء البيولوجي، (هـ) التأثير الطويل المدى للبيئة على نظام التهوية، (و) مواصفات إنشاءات المبنى (عازل). ويوضح الشكل رقم (١، ١٤) التغير في دفع هواء المروحة مع تغير الضغط الاستاتيكي، بينما يوضح الشكل رقم (٢، ١٤) التفاعلات الخاصة بالعوامل البيئية لإيجاد معدلات التهوية بالنسبة لمباني الإنتاج الحيواني غير المدفئة. ويؤخذ في الاعتبار بالنسبة لأفضل تهوية اقتصادياً كل العوامل السابقة بالإضافة إلى تكلفة الأجهزة والطاقة المستخدمة وتأثير التهوية على تكاليف الإنتاج الأخرى (أي أن متطلبات التغذية وراحة العاملين).

* ل.ل. كريستيانسان : جامعة ولاية داكوتا الجنوبية، بروتوكيس
ر.ل. فيهر : جامعة كينتافي، ليكسنجتون



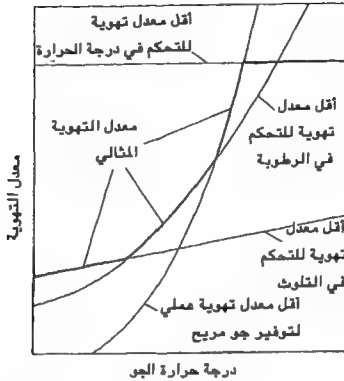
شكل (١، ١٤). مقارنة بين الضغط الإستاتيكي وتأثيرات الرياح على دفع هواء المروحة بالنسبة لمروحة محورية نموذجية ٠,٧٥ م صُممت للتطبيقات الزراعية.

التهوية المثلى - تصميم وإدارة

(OPTIMAL VENTILATION - DESIGN AND MANAGEMENT)

منطقية التحكم في التهوية (Ventilation Control Logic)

عادة تحتسب معدلات التهوية المثلى بالنسبة للتطبيقات الزراعية عن طريق دراسة التفاعل بين المتغيرات المتعددة. وقد تتج عن ذلك سلسلة من نظم التهوية التي من خلالها يتم إيجاد معدل التهوية الأمثل عن طريق الحد من متغير مختلف خلال كل نظام. فعادة ما تتوافق مباني الإنتاج الحيواني والبيوت المحمية ومنشآت تخزين ومعاملة المنتجات الزراعية مع التصنيف الخاص بنظم التهوية المتعددة.



شكل (١٤، ٢). تأثيرات درجة الحرارة على متطلبات التهوية بالنسبة لمبنى ماشية لا يستخدم أي وسيلة تدفئة (رسم تخطيطي).

ويتم إيجاد معدل التهوية الأمثل في المباني الزراعية عن طريق أربع نظم تحكم، وذلك كما هو موضح في الشكل رقم (١٤، ٢) (ليس بالضرورة تطبيق الأربع نظم بالنسبة لتطبيق معلوم في جو محدد). وهذه النظم هي (أ) أقصى معدل تهوية عملي للمحافظة على بيئة مناسبة؛ أقصى معدل، (ب) أقل معدل تهوية للمحافظة على أمثل درجة حرارة للوسط؛ تحكم في درجة الحرارة، (ج) أقل معدل تهوية للتخلص من الرطوبة؛ تحكم في الرطوبة، (د) أقل معدل تهوية للتحكم في التلوث؛ تحكم في الغازات الضارة.

ولابد من الوصول إلى حل وسط بين راحة الحيوان والأداء وتكاليف تشغيل نظم التهوية الثابتة والمتغيرة لكل نظام من النظم الأربع. فيمكن تحديد أداء الحيوانات اقتصادياً وربط ذلك بتكاليف الطاقة. وتوجد أيضاً عدة عوامل قد تؤثر على معدل التهوية المثالي مثل التحكم في تركيز الأتربة والضوضاء وراحة العاملين.

أقصى معدل تهوية عملي (Maximum Practical Ventilation Rate)

يعتبر أقصى معدل تهوية عملي للمحافظة على راحة الحيوان هو معدل التهوية الذي يمكن تطبيقه على أدفا ظروف جوية. فعندما تكون درجة حرارة الهواء الخارجية أعلى من درجة حرارة بيئة الحيوان المرغوبة، فإن تصميم نظام التهوية يكون عامةً للمحافظة على بيئة مناسبة باستخدام معدل تهوية مرتفع نسبياً للحد من ارتفاع درجة الحرارة داخل المبنى. وفي الغالب توجد حرارة مضافة إلى هواء التهوية؛ نظراً لتولد الحرارة من الحيوانات، أو نتيجة لدخول أشعة الشمس إلى داخل البيت المحمي في الجزء الدافئ من اليوم. ولابد من مضاعفة معدل التهوية تقريباً مرة لكل انخفاض في درجة الحرارة المرغوبة مقداره ٥٠٪، وذلك بفرض ثبات عدد الحيوانات أو كمية الحرارة المضافة إلى حيز التهوية. وعامة لا تتأثر كمية الحرارة المضافة إلى هواء التهوية بمعدل التهوية المستخدم، ولكن قد تتأثر راحة الحيوانات بسرعة الهواء المار فوق أسطح الأجسام. ويُعزى تحسن الإنتاج مع زيادة معدل التهوية إلى زيادة مقدرة الحيوانات على التخلص من الحرارة المتولدة الزائدة. وتوجد أبحاث أخرى قد أوضحت أن سرعات هواء التهوية المرتفعة لديها تأثير ضار على راحة الحيوان وأدائه. ويمكن استخدام التبريد التبخيري في حالة ما إذا كانت درجة حرارة الجو مرتفعة، وذلك لخفض درجة حرارة الهواء الداخلية عند استخدام أقصى معدل تهوية. ويعمل التبريد التبخيري على خفض درجة الحرارة داخل المبنى وعلى الحد من الإجهاد على الحيوان.

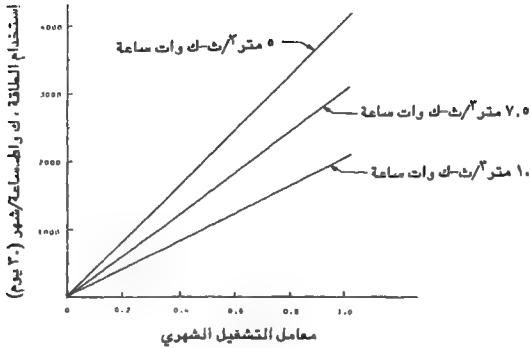
وتعتبر كفاءة كل من المراوح والمحركات الكهربائية مهمة جداً عند استخدام معدلات تهوية مرتفعة لأغراض التحكم في ارتفاع درجة الحرارة في بيئة أدفا من المرغوبة. ويعني استخدام معدلات مرتفعة من التهوية استهلاك أعلى للطاقة الكهربائية في تشغيل المراوح وانخفاض تأثير التحكم الدقيق في معدل التهوية على أداء كل من الحيوانات والمحاصيل.

ويوضح الفصل الثامن أن معدل التهوية الصيفي الشائع الاستخدام لكل ١٠٠ كجم من وزن الحيوان ٥٧، ٠ (م^٣/ث). ويُعادل هذا المعدل تقريباً عشرة أضعاف أقل معدل تهوية بالنسبة للظروف الشتوية. وتقترب متطلبات طاقة التهوية الميكانيكية أثناء الظروف الصيفية من كمية طاقة التلفئة المطلوبة في الشتاء والخاصة بتهيئة

البيئة . فعلى سبيل المثال ، كانت متطلبات طاقة التهوية لتدفئة الدواجن أثناء الظروف الصيفية في أحد الأبحاث تساوي ٥٠٪ من متطلبات التدفئة الشتوية لنفس المنشأة^(٢) .

ومن المهم عند استخدام التهوية الميكانيكية اختيار مراوح ذات كفاءة ، وذلك للإقلال من مقاومة سريان الهواء لتلك المراوح . وعادة ما تكون المراوح ذات الأقطار الكبيرة أعلى كفاءةً من المراوح ذات الأقطار الصغيرة . فتكون نسبة كفاءة التهوية (Ventilating Efficiency Ratio (VER) بالنسبة لمراوح مباني الإنتاج الحيواني في حدود ١٠ م^٣/ (ث.ك.واط) . ولكن قد يوجد تباين واضح حتى بين مراوح بنفس الحجم ، حتى مع استخدام محركات كهربائية متساوية في الحجم . وقد كشفت مقارنة تغير قي (VER) بين عدة مصانع لإنتاج مراوح ذات أقطار ٩٢ ، ٠ (م) ومجهزة بمحركات كهربائية ذات معدل ٣٧ ، ٠ (ك.واط) بأكثر من ٢٠٠٪ (من ٥ م^٣/ (ث.ك.واط) إلى ١١ م^٣/ (ث.ك.واط))^(٣) .

ويوضح الشكل رقم (٣، ١٤) أهمية كفاءة مراوح التهوية الصيفية . فتوجد أكثر من ٢٠٠٠ (ك.واط-ساعة) تُستخدم في الشهر عند التشغيل المستمر لمراوح ذات (VER) مساوي ١٠ م^٣/ (ث.ك.واط) في وحدة إنتاج حيواني تسع ٥٠٠ حيوان . وتُقدر التكلفة الشهرية بحوالي (٨٠ دولار/ شهر) عند استخدام سعر للكهرباء ٠٤ ، ٠ دولار/ (ك.واط . ساعة) . وقد تتضاعف التكلفة عند استخدام مراوح ذات كفاءة أقل أو ذات قيم (VER) تعادل ٥ م^٣/ (ث.ك.واط) . وقد لا تعمل المراوح باستمرار في فصلي الربيع والخريف ، وقد تنخفض التكلفة على حسب نسبة تشغيل المراوح . وقد تقترب سعة التهوية الكلية إلى أقل معدل تهوية مستخدم في شهور الشتاء الباردة . فإذا فُرض أن معامل الاستخدام اليومي المتوسط لعام كامل كان ٦٥ ، ٠ ، فإن طاقة الاستهلاك الكلية عند استخدام مراوح ذات قيم (VER) تساوي ١٠ تكون حوالي ١٣٣٠ (ك.واط . ساعة)/ شهر أو ١٥٩٦٠ (ك.واط . ساعة)/ سنة . وقد يتضاعف الاستهلاك عند استخدام مراوح ذات كفاءة أقل من قيمة (VER=5) . وقد تحتاج قيمة هذا الفرق في الطاقة إلى الأخذ في الاعتبار عند اختيار المراوح . ويمكن تبرير شراء مراوح أكثر تكلفةً إذا كانت تلك المراوح لها نسب كفاءة مرتفعة .



شكل (١٤,٣). الطاقة المستخدمة شهرياً عند تهوية مختازير زنة ١٠٠-٥٠٠ كجم عند أقصى معدل تهوية صيفية شائعة الاستخدام (٠,٥٧٨ م³/ث).

ويمكن أيضاً تحديد تكاليف الطاقة بالنسبة للمراوح ذات كفاءات متباينة باستخدام الشكل رقم (١٤,٣). ويلاحظ أيضاً إمكانية حساب الوفورات في حالة فتح البيت والتحويل إلى التهوية الطبيعية في فصول الصيف. ولا بد أن يتضمن التحويل إلى التهوية الطبيعية تحليلاً متأنياً للإجهادات التي قد يتعرض لها الحيوان أو النبات الموجود داخل حيز البيت. وقد يتضمن التحليل أيضاً التكلفة المطلوبة بالنسبة للتعديلات الإنشائية، وذلك للسماح بالتحويل من التهوية الميكانيكية إلى التهوية الطبيعية.

ولا بد بقدر الإمكان من الحد من استخدام مصادر التدفئة الخارجية عند استعمال نظم التهوية الطبيعية أو الميكانيكية. وقد يتأثر حمل التدفئة بدرجة حرارة السطح الخارجي للمبنى وخاصة الأسقف نتيجة انتقال الحرارة بالتوصيل، وقد يتأثر أيضاً بزيادة الإجهاد الحراري على الحيوانات نتيجة للإشعاع الحراري. وتؤثر مصادر الحرارة الخارجية مباشرة على متطلبات طاقة نظام التهوية عن طريق زيادة

أقصى معدل تهوية عملي وضروري للحد من ارتفاع درجة الحرارة، أو عن طريق غير مباشر بالتأثير على أداء الحيوان، كما في حالة إهمال الحرارة الإشعاعية.

التحكم في درجة الحرارة (Temperature Control)

يعتبر معدل التهوية للتحكم في درجة الحرارة هو الأسلوب الثاني لإيجاد معدل التهوية. وبالرغم من أنه في بعض الأحيان قد تكون درجة الحرارة الخارجية أقل من درجة حرارة وسط الحيوانات، إلا أن زيادة الحرارة المتولدة من الحيوانات قد تكون بدرجة كافية لتوفير درجة حرارة أعلى من المرغوبة تحت ظروف تهوية دنيا. وقد تكون التهوية المثلى في تلك الحالة هي التي تُحافظ على درجة حرارة مرغوبة في وسط الحيوانات.

ونظراً لأن الحرارة المتولدة من الحيوانات قد تُستخدم للمحافظة على درجة الحرارة المرغوبة، إلا أن الحرارة المفقودة بالتوصيل من المبنى قد تقلل من معدل التهوية المطلوب. وبما أن الطاقة الكهربائية هي الطاقة المستخدمة في تشغيل المراوح، فإنه من المهم جعل هذا الأسلوب يمتد بقدر الإمكان ليغطي مدى واسعاً من درجات حرارة الهواء الخارجية. والطريقة الأكثر شيوعاً لخفض الحرارة المفقودة من مبنى عن طريق إضافة مادة عازلة على الحوائط الخارجية والسقف.

ودائماً ما تقلل زيادة مستوي عازل المبنى من فقد الحرارة، ولكن سوف يصبح خفض المتزايد في الحرارة المفقودة أقل بزيادة مستوى العازل. وقد يتعرض المستوى الاقتصادي الأمثل لعازل مبنى إلى قاعدة العوائد القليلة؛ فسوف ينتج عن كل زيادة مضافة من مادة العازل منفعة اقتصادية متخضبة لهذا العازل. ولكن قد لا تحتاج قيمة العازل إلى تبرير مفرّد في هذا الأسلوب؛ نظراً لأن وفورات الطاقة سوف تولد أيضاً من إضافة العازل في أساليب التهوية الخاصة بالتحكم في كل من الرطوبة والتلوث.

التحكم في الرطوبة (Humidity Control)

تعتبر تلك الطريقة هي الثالثة لإيجاد معدل التهوية في مباني الإنتاج الحيواني. وتُطبق تلك الطريقة في فترات البرد عندما يكون معدل التهوية المرغوب هو للتخلص

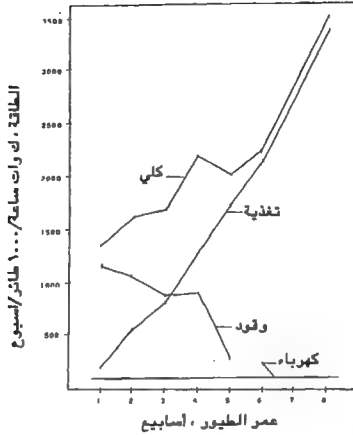
من الرطوبة، مع العلم أن المحافظة على مستوى رطوبة المبنى المرغوب قد تُسبب انخفاضاً في درجة حرارة المبنى إلى مستوى أقل من المرغوب. وقد يتطلب الأمر في تلك الحالات إما استخدام تدفئة خارجية للمحافظة على درجة الحرارة داخل المبنى، أو السماح لدرجة حرارة الوسط بالانخفاض إلى أقل من المستوى المطلوب. ويعتمد استخدام أي من الطريقتين على تكلفة توفير الطاقة الإضافية المطلوبة والمنفعة الاقتصادية المرتبطة مع أي انحدار في كفاءة تغذية الحيوانات أو معدل الإنتاج.

وغالباً لا تضاف أي طاقة تدفئة إلى المباني ذات الطابع التجاري وذلك للوصول إلى البيئة المثالية. ويُسمح بدلاً من ذلك بالإقلال من كفاءة التغذية أو معدلات النمو؛ نظراً لأن مستوى الوسط أقل من الأمثل. ويتج عن ذلك تكاليف اقتصادية وطاقة يمكن قياسهما، والتي في الغالب ما يُخس في تقييمهما بواسطة العامل.

فعلى سبيل المثال، تتضمن عملية تربية الحيوانات في الشمال المتوسط للولايات المتحدة استخدام منشآت بدون تدفئة في شهور الشتاء. ويستخدم في تلك الظروف طاقة تغذية لتعويض الظروف البيئية للمحيط. فتكون كمية الطاقة الغذائية لحصوان زنة ١٠٠ كجم تتم تربيتها عند درجة حرارة ٢٠°م هي ٤٤٠٠٠ (ك. جول/يوم)، بينما يحتاج نفس الحيوان إلى ٥١٠٠٠ (ك. جول/يوم) إذا كانت درجة حرارة الوسط صفراً، وذلك بالرغم من أن معدل النمو في كلتا الحالتين متساو تقريباً. ولجهد- للتعبير عن ذلك باستخدام الطاقة الكهربائية- أن الحيوان الذي يتعرض لوسط أبرد يستهلك ٩٥ و ١ (واط-ساعة/يوم) أكثر من طاقة الغذاء التي تمثل تقريباً ٦٠ مرة الطاقة الكهربائية المطلوبة لتشغيل نظام تهوية لنفس الحيوان.

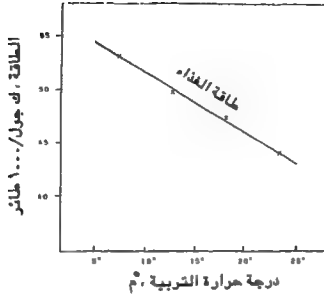
ويوضح الشكل رقم (٤، ١٤) القيم النسبية للكهرباء (مروحة + إضاءة) وغاز التدفئة وطاقة الغذاء بالنسبة للدواجن تمت تربيتها في شمال كاليفورنيا في ظروف شتوية^(٥). وبين الشكل رقم (٥، ١٤) تأثير درجات الحرارة على متطلبات الطاقة الغذائية للدواجن^(٦). ويتج عن عدم استخدام التدفئة مع التهوية في الأجواء الباردة زيادة في كمية الغذاء المستهلكة. وتمثل تكاليف التغذية بالنسبة لإنتاج الدواجن من ٦٥ إلى ٧٠٪ من تكاليف الإنتاج.

ويطلب التحكم في نسبة الأثرية والبكتريا الهوائية للمحافظة على رطوبة نسبية في حدود من ٥٠ إلى ٨٠٪ أثناء استخدام طريقة التحكم في الرطوبة. ونظراً لعدم



شكل (٤، ١٤). الطاقة المضافة من الغذاء والوقود والكهرباء أثناء فترة نمو دجاج اللحم في ولاية كارولينا الشمالية.

وجود الجهاز غير المكلف الذي يمكن الاعتماد عليه في حس والتحكم في مستوى الرطوبة آلياً خلال مبنى زراعي معين، فإنه من الضروري بناءً على ذلك قياس مستوى الرطوبة على فترات وضبط معدل التهوية. وغالباً ما يتم ذلك باستخدام مقاييس حس الرطوبة سواء المعلقة أو التي تعمل بمحرك. وتعتبر عملية القياس الدوري للرطوبة ضرورياً لأن تصميم وإدارة المبنى يمكن أن تُسبب تغييرات معنوية في التأثير على كمية الحرارة والرطوبة المتولدة في حيز التربية، والتي لا بد من التخلص منها بواسطة نظام التهوية. وقد وجد (Bundy) أن الحرارة الكامنة والمتولدة داخل غرفة كل حيوان ومن فرشته تتراوح من متوسط ٦٠ واطاً بالنسبة لنظام تهوية أرضية مثقبة نسبياً إلى متوسط



شكل (٥، ١٤). تأثيرات درجة حرارة التربة على طاقة الغذاء المضافة للدجاج اللاحم.

١٠٥ واط بالنسبة للأرضية الصلبة كنظام تربية في الظروف الشتوية (٧). وتتراوح القيم المتطرفة في تلك الدراسة من ٣٠ واط إلى ٢٠٠ واط لكل من الحيوان وفرشته.

وغالبًا ما تكون متطلبات الطاقة الحرارية لتكييف هواء خارجي إلى الحالة المرغوبة داخل المبنى أكبر عدة مرات من الطاقة الميكانيكية المطلوبة لتشغيل المروحة الخاصة بالتحكم في الرطوبة. فعلى سبيل المثال: تكون قيمة (VER) الخاصة بمروحة مصممة لتزويد أقل تهوية شتوية لحيوان وزن ١٠٠ كجم هي ١, ٢ م^٣(ث.ك. واط) فقط. وقد كان أقل معدل تهوية شتوية في الفصل الثامن لحيوان وزن ١٠٠ كجم حوالي ٠,٠٠٥ (م^٣/ث)، وذلك باستخدام مروحة ذات سعة ١, ٢ م^٣(ث.ك. واط). وعلى ذلك نجد أن معدل الكهرباء المطلوبة لتزويد أقل معدل تهوية ٠,٠١ (ك. واط. ساعة) (حيوان-يوم). ويفرض أن فرق درجة الحرارة بين الداخل والخارج ٢٥ م°، فإن كمية الحرارة المطلوبة للمحافظة على البيئة الحرارية

تكون ٣,٧ (ك. واط. ساعة)\(حيوان-يوم). وقد يُحتاج في تلك الحالة إلى مصدر تدفئة خارجي لتوفير الجزء من الحرارة التي لم يتم الحصول عليها من الحيوانات، أو قد تنخفض درجة حرارة المبنى مسببةً انخفاضاً في إنتاجية الحيوان. ولتوضيح الصورة نجد أن أي تهوية زائدة بمقدار أقل من واحد في المائة قد تؤدي إلى فقد طاقة حرارية تعادل ثلاث مرات الطاقة الميكانيكية المطلوبة لتشغيل نظام التهوية. ونجد تحت أي ظروف أن مقدرة النظام على دفع كمية الهواء المطلوبة فقط مع توزيعه بانتظام خلال الحيز بدون إحداث تيارات تكون أكثر أهمية من الكفاءة الكهربائية لنظام المراوح. وعادة ما يكون معدل التهوية للتحكم في التهوية الشتوية ومط التوزيع أكثر أهمية من الوصول إلى أمثل استخدام لكفاءات كل من مراوح التهوية والمحركات الكهربائية.

وتعتبر عملية الحصول على تحكم في الرطوبة بدون حدوث تهوية زائدة من العمليات المعقدة؛ نظراً لأن اختصاص التهوية قد لا يتوافق مع استخدام أقل معدل تبادل هوائي في مباني الإنتاج الحيواني. وتؤثر نظم معاملة المخلفات وعوامل خارجية أخرى على كمية الرطوبة التي يجب إزالتها، بينما يؤثر مستوى العازل المستخدم على درجة الحرارة التي قد يحدث عندها تكثيف لبخار الماء، وبالتالي التأثير على أقل معدل تهوية للتحكم في الرطوبة.

ويجب إعادة النظر من ناحية التحليل الاقتصادي في تقييم معدل التهوية للتحكم في الرطوبة عند كل درجة حرارة تصميمية. ويمكن خفض أقل معدل تهوية شتوية داخل المنشأة عند زيادة درجة الحرارة الداخلية نتيجة للزيادة في مقدرة الهواء الدافئ على حمل الرطوبة. وتزداد الحرارة الكامنة المتولدة مع معظم أصناف الحيوانات أيضاً مع زيادة درجة الحرارة بحيث لا بد وأن يتضمن حساب معدل التهوية للتحكم في الرطوبة هذين العاملين.

وسوف يؤثر استخدام أفران الغاز (غير المهواة) في التدفئة على معدل التهوية للتحكم في الرطوبة. وسوف تتسرب الرطوبة- والتي هي أحد نواتج الاحتراق النهائية- إلى الهواء في المنشآت باستخدام دفايات الغاز غير المهواة. وقد تكون كمية الرطوبة المتسربة كافية بحيث يتطلب الأمر زيادة معدل التهوية للتحكم في الرطوبة.

ونظراً لأنه لا بد من توافر حرارة إضافية للمحافظة على درجة الحرارة الداخلية عند استخدام أسلوب التهوية للتحكم في الرطوبة، فإن خفض كمية الحرارة المفقودة من المبنى سوف يقلل من تلك الكمية التزويدية من الطاقة الحرارية الخارجية. وقد يكون العازل اقتصادياً كما في أسلوب التحكم في درجة الحرارة، وذلك عن طريق خفض الحرارة المفقودة من المبنى. وقد تكون المنفعة الاقتصادية للعازل أكثر وضوحاً مع أسلوب التهوية للتحكم في الرطوبة؛ نظراً لأنه يقلل مباشرة من تلك الكمية التزويدية من الطاقة الحرارية الخارجية.

التحكم في نسبة التلوث (Pollution Control)

يعتبر التحكم في نسبة التلوث الأسلوب الرابع لحساب معدل التهوية بالنسبة لمباني الإنتاج الحيواني. ولا بد في جميع الأحوال من أن يكون معدل التهوية كبيراً بقدر كافٍ للمحافظة على نسب الغازات الضارة والتلوث المتولد من نواتج الاحتراق الأخرى عند مستوى يعادل أو أقل من المستوى الآمن. وقد لا نجد تمييزاً واضحاً بين معدلات التهوية المقبولة وغير المقبولة بالنسبة لبعض الملوثات. وعامة يعتبر أقل معدل تهوية للتحكم في الرطوبة أعلى من أقل معدل تهوية للتخلص من التلوث.

وقد يصبح في بعض الأحيان مستوى الروائح الكريهة داخل المبنى العامل المحدد لمعدل التهوية الواجب استخدامه. ويتغير معدل تولد الروائح الكريهة مع طريقة معاملة الروث والمخلفات ونظم التخزين. وفي الغالب ما تصمم نظم التهوية للمساعدة على التخلص من الروائح الكريهة. ولم يبرهن مستوى الروائح الكريهة حتى الآن على أنه يؤثر تأثيراً عكسياً على إنتاجية الحيوانات.

تطبيقات البيوت المحمية (Greenhouse Application)

تستخدم تطبيقات البيوت المحمية سلسلة من معدلات التهوية المماثلة لطرق إيجاد معدلات التهوية المثلى لمباني الإنتاج الحيواني. ويعتبر معدل التهوية الأمثل في الظروف الحارة هو ذلك المعدل الذي يزيد المساومة بين أداء النباتات وكل من التكاليف الثابتة والمتغيرة لنظام التهوية. وتوجد بعض معدلات تهوية عظمى في هذا النظام، والتي تحد من ارتفاع درجة الحرارة في حيز التربية.

وتوجد طريقة ثانية عملية واقتصادية لتهوية البيوت المحمية، والتي من خلالها يتم المحافظة على درجة حرارة محددة عن طريق التخلص من جزء من الطاقة الشمسية المكتسبة. وتعتبر التهوية عن طريق التحكم في الرطوبة - الطريقة الثالثة - هي الطريقة المثلى عندما تكون الحاجة إلى أقل تهوية للتخلص من رطوبة تنفس النباتات بالإضافة إلى الرطوبة المتبخرة من البيت المحمي. وقد تؤدي تلك الطريقة إلى انخفاض درجة الحرارة عن الدرجة المثلى ويكون الحل عن طريق إضافة حرارة أو استخدام مبادلات حرارية، أو السماح بتعرض النباتات لبعض الإجهادات نتيجة لانخفاض درجة الحرارة عن المثلى.

ويكون الأسلوب الرابع لإيجاد معدل التهوية بالنسبة للبيوت المحمية عن طريق تطبيق أسلوب التهوية للتحكم في نسبة التلوث الخاص بمباني الإنتاج الحيواني والدواجن. وعامة لا يعتبر التلوث في البيوت المحمية مشكلة أمان، ولكن يمكن تعزيز عملية الإنتاج النباتي عن طريق الوصول إلى التراكيز المثالية لكل من ثاني أكسيد الكربون والأكسجين وبعض الغازات الأخرى.

وتوجد أيضاً متواليات من أساليب التهوية المثلى بالنسبة لمنشآت عمليات ومخازن المنتجات الزراعية. وتعتبر نسبة الرطوبة ودرجة الحرارة ومعدلات التجفيف ونسب تراكيز الغازات الملوثة متغيرات تستخدم في إيجاد معدلات التهوية المثلى بالنسبة لتطبيقات عمليات تشغيل وتخزين محددة.

حدود عمل تجهيزات نظام التهوية:

تصميم وإدارة

(EQUIPMENT LIMITATIONS TO VENTILATION SYSTEM DESIGN AND MANAGEMENT)

تتغير كفاءة كل من المراوح والمحركات الكهربائية تغيراً كبيراً حتى بالنسبة للمراوح التي صُممت لتعمل تحت نفس الظروف الخاصة بمعدلات سريان هواء محددة. ويحدد من المراجعة الجزئية للمراوح المتوافرة في الأسواق أن قيمة (VER) تتغير بمعامل أكبر من ٣٠ وأقل من ٣٠ م^٣ (ث-ك. واط) بالنسبة للمراوح ذات الأقطار الصغيرة، وإلى أكبر من ١٠ م^٣ (ث-ك. واط) بالنسبة للمراوح ذات الأقطار

الكبيرة^(٣). وقد تتغير قيمة (VER) حتى بالنسبة للمراوح ذات الأقطار المتساوية والمنتجة من مصانع مختلفة بمعامل أكبر من ٣٠.

وتعتبر عملية صيانة المراوح مشكلة في المنشآت الزراعية نتيجة لتراكم الأتربة على كل من الريش والحواجز. ولم تتوافر في الأبحاث إرشادات كافية عن الوفورات الممكن اكتسابها نتيجة لتنظيف الريش. وقد لوحظ أنه إذا كانت تراكيز الأتربة مرتفعة، فإن ريش المروحة قد تسبب في حمل زائد على المحرك الكهربائي. ويمكن أن ينخفض أداء المروحة ٢٠٪ إذا كانت حواجز المروحة غير نظيفة ولا تعمل بحرية. ويؤدي تركيب الحواجز على المراوح إلى خفض كفاءة تلك المراوح، وعلى ذلك ينصح بعدم تركيب حواجز على المراوح التي تعمل باستمرار.

ويعتبر استخدام معدل سريان هوائي ملائم أثناء ظروف التهوية في أجواء باردة أكثر أهمية من قيم (VER'S) الخاصة بالمراوح. ويكون فرق الضغط النموذجي عبر نظام التهوية في مباني الإنتاج الحيواني تقريباً في حدود ١، ٠ (سم ماء). وقد تسبب سرعة للرياح ٦ (ميل / ساعة) فرق ضغط أكبر من ٢، ٠ (سم ماء) عبر الجوانب المقابلة وغير المقابلة للرياح من مبنى إنتاج حيواني، وذلك كما هو موضح في الشكل رقم (١٤، ١). إذن لا بد وأن يُصمم نظام التهوية لتزويد معدل السريان المطلوب في مدى من الضغوط الاستاتيكية للتأكد دائماً من الحصول على أقل متطلبات التهوية. ويعني ذلك أنه لا بد من أن يُزود النظام بأقل معدل سريان هوائي مطلوب في الظروف الجوية العاتية، بينما قد يؤدي ذلك إلى تهوية زائدة في معظم الأوقات الأخرى. ونجد في تلك الحالة أن المروحة التي تدفع كمية ثابتة من الهواء تكون أكثر أهمية من كفاءة المروحة؛ نظراً لأن التهوية الزائدة بحوالي ٥، ٠٪ قد تؤدي إلى فقد كل وفورات الطاقة المتحصّل عليها باستخدام مروحة لها قيم (VER) مرتفعة.

أمثل نظام تهوية كلي (Total Ventilation System Optimization)

تتضمن التطبيقات الزراعية المختلفة مزيجاً من أساليب التهوية الأربعة. ويعتبر استخدام المراوح ذات الأقطار الكبيرة والكفاءة المرتفعة والتي تعمل جيداً في الظروف الصيفية غير اقتصادي عند استخدامها للتحكم في الرطوبة، وذلك لعدم وجود تحكم كاف في معدل التهوية. وتسمح الفترات تشغيل - إيقاف بزيادة مشاكل

التلوث وظهور أمطاط سريان غير مرغوبة أثناء فترات الإيقاف^(٩). ويكون استخدام مراوح ذات أقطار صغيرة مع إنجاز لا يتأثر نسبياً بالضغط الاستاتيكي أكثر ملاءمة بالنسبة لتلك التطبيقات، ولكن عامة لا تكون تلك الأحجام من المراوح كافية لتزويد متطلبات التهوية في الصيف. ونتيجة لذلك نجد أن نظم التهوية المثلى قد تتضمن توليفة من أحجام مراوح ونظم تحكم تمشي مع خصائص المراوح ومتطلبات التهوية عند التشغيل.

وعامة يتم التحكم في مراوح التهوية والتدفئة الخارجية المضافة باستخدام أجهزة تحكم في درجة حرارة المروحة ومصدر التدفئة كل على حدة. وقد تعمل مراوح التهوية المستخدمة في أسلوب التحكم في درجة الحرارة أثناء العمل في أسلوب التحكم في الرطوبة إذا لم يتم ضبط أجهزة الحس الحراري جيداً. وقد يحدث أثناء ذلك أيضاً إضافة حرارة تدفئة، وقد تُفقد تلك الطاقة بدون فائدة. ويجب أن نُصمم ونُضبط أجهزة التحكم بحيث لا يزداد معدل التهوية عند إضافة حرارة التدفئة. ويتم ضبط أجهزة حس الحرارة الخاصة بأسلوب التهوية للتحكم في درجة الحرارة من ٢ إلى ٣ °م أعلى من الضبط لمصادر التدفئة باستخدام أجهزة واحدة لحس درجة حرارة. ويرجع الغرض في ذلك إلى منع حدوث التهوية المتزامنة بين كل من التحكم في درجة الحرارة والتدفئة المضافة.

وتعتبر عملية اختيار أجهزة تحكم ذات جودة وتكاليف صيانة منخفضة من المشاكل المهمة التي تواجه المربي. نظرياً، يوجد العديد من المتغيرات التي يمكن حسنها. ومن الناحية العملية يوجد العديد من أجهزة حس البيئة مثل أجهزة حس الرطوبة وتركيز الغازات التي لها مشاكل جمة بالنسبة للبيئة الزراعية. وتوجد محاولة لربط متغيرات ثانوية مثل درجة الحرارة إلى المتغير الذي يعتمد عليه في التحكم. ويتم عادة التحكم في نظام التهوية بواسطة المتغيرات الثانوية مع التضحية الاقتصادية.

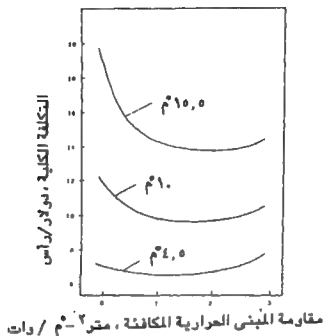
وتعتبر تعقيدات تشغيل نظام التهوية للوصول إلى تهوية مثلى نوعاً آخر من أنواع القصور، هذا بالإضافة إلى كل من مدى الاعتمادية على هذا النظام وتكلفة التحكم. وسوف تؤدي ميزة استخدام كل من الأجهزة ذات التشغيل المستقر ومعالجات البيانات إلى زيادة دقة التحكم في التهوية مما يعود بالفائدة سواء عملياً أو

اقتصاديًا. ولكن حتى في حالة توافر طرق تحكم أفضل، فإن مهارات العاملين والوقت المحدد غالبًا ما يمنعان من استخدام أفضل كفاءة تشغيل لنظام التهوية.

وتعتبر تعقيدات تشغيل نظام التهوية للحصول على تهوية مثلى بالإضافة إلى مدى الوثوق في تلك الأجهزة نوعًا آخر من أنواع القصور. وقد أصبحت برامج الحاسوب الآلي من الوسائل التي يجب أخذها في الاعتبار عند البحث عن البدائل العديدة في مؤسسات الإنتاج الزراعي ومحاولة اختيار أفضل تلك البدائل. ويمكن أن تحدد برامج الحاسوب الآلي التأثيرات الاقتصادية بالنسبة لاستخدام معدلات تهوية متغيرة. وقد أدى تطور قدرات معالج البيانات والتحسينات التي أدخلت على تصميم أجهزة الحس الحراري للحصول على خطط تحكم في التهوية معقدة كان يصعب عمليًا الوصول إليها من قبل. ويرجع القصور في استخدام تلك البرامج أساسًا إلى عدم اكتمال البيانات الأساسية بالنسبة للاستجابات البيولوجية.

وقد اقترب خبراء البرامج من حل مشكلة الوصول إلى أفضل تصميم لمعدل التهوية عن طريقين. الأول بواسطة برمجة بيئة المنشأة كدالة في الظروف وأجهزة التحكم وكيفية معاملة الحرارة والرطوبة المتولدة داخليًا. والاتجاه الثاني عن طريق برمجة أداء الحيوان أو النبات أو استجابات للمحصول للوسط المحيط.

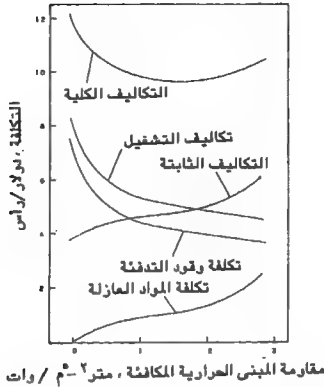
وقد قام (Christian Son and Hellickson) بتطوير برنامج حاسوب آلي على أساس أفضل تحكم في التهوية للتنبؤ بالاستهلاك السنوي للطاقة^(١١). وقد استخدم ذلك البرنامج أيضًا في تحليل كل من التكاليف الثابتة والكلية المرتبطة مع المنشأة ونظم التحكم البيئية. ويمكن باستخدام ذلك البرنامج تقييم أساليب تشغيل نظام التهوية (مثال: ضبط درجة حرارة الثرموستات بالنسبة لتأثيرات متطلبات الطاقة وتكاليف التشغيل)، وذلك كما في الشكل رقم (٦، ١٤). ويمكن أيضًا تقييم تصميم المنشأة من حيث مستويات العازل وذلك كما في الشكل رقم (٧، ١٤)، والقرارات المرتبطة بإدارة المنشأة مثل كثافات التربية، الشكل رقم (٨، ١٤). ويمكن استخدام ذلك البرنامج لتحليل الأفضلية بين تكاليف الاستثمارات الأولية للعازل ووفورات طاقة التشغيل خلال فواقد حرارية مخفضة. ويرجع القصور الأساسي في هذا البرنامج إلى أنه لا يمكن التنبؤ بمدى استجابة الحيوان للوسط المحيط. ونتيجة لذلك، فإنه لا يمكن المقارنة مباشرة بين الطاقة الحرارية والكهربائية المستخدمة وبين طاقة التغذية مع النتائج المتحصل عليها من هذا البرنامج.



شكل (١٤,٦). التكلفة الكلية لكل رأس كدالة في كل من مستوى العازل وأقل درجة حرارة للوسط لعدد ٢٠٠ رأس ذات كثافة تربية ١,٦٧ م^٢/رأس بالنسبة لنظم حظائر خاصة بأبقار اللحم في ولاية داكوتا الجنوبية.

وقد تم تطوير العديد من برامج الحاسوب الآلي لتمثيل بيئة الحيوان أو النبات. وقد تضمنت بعض تلك البرامج تحليلات تفصيلية أكثر عن انتقال الحرارة في مراحل الحالات غير المستقرة. ولم تتضمن معظم تلك البرامج وسائل لإيجاد أسلوب تهوية ملائم وبالتالي التكامل بين تلك العوامل المتداخلة على مدار السنة. ونتيجة لذلك، فإنه يوجد نوع من القصور لتلك البرامج في عمليات التطبيق بغرض الوصول إلى تصميم وتشغيل أمثل للتهوية.

وقد طور عدد من الباحثين عدة برامج للتنبؤ بمدى استجابة كل من الحيوان والنبات بالنسبة للوسط. ولم تتضمن تلك البرامج مقدرة برامج البيئة على العمل خلال فترة سنة للتنبؤ بالتفاعلات بين كل من التهوية والطاقة والتغذية والإنتاج.

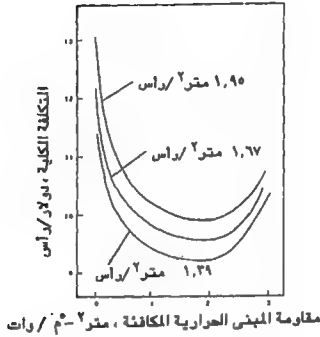


شكل (١٤،٧). التكاليف الثابتة والمتغيرة والكلفة السنوية كدالة في مستوى العازل لعدد ٢٠٠ رأس ذات كثافة تربية ١,٦٧ م^٢/رأس عند درجة حرارة صغرى ١٠ م° بالنسبة لنظم حظائر أبقار اللحم في ولاية داكوتا الجنوبية.

وسائل توفير الطاقة ومصادر الطاقة البديلة

(Energy Saving Devices and Alternate Energy Sources)

يجب إنجاز التحليلات الاقتصادية ووسائل توفير الطاقة بعد إيجاد معدل التهوية الأمثل وتحديد مستوى العازل المستخدم. وقد يتج عن الاختيار غير الموفق لكل من معدلات التهوية ومستوى العازل المستخدم في المنشأة تقييم اقتصادي غير دقيق لسبل توفير الطاقة. ويرجع السبب في ذلك إلى أن معدلات التهوية لها دور رئيسي بالنسبة لاقتصاديات نظم التهوية. ويمكن التحكم في ذلك للوصول إلى الوفورات الاقتصادية الجوهرية بعيداً عن وسائل توفير الطاقة.



شكل (٨، ١٤). التكلفة الكلية لكل رأس كدالة في مستوى العازل وكثافة تربية الماشية لعدد ٢٠٠ رأس ذات كثافة تربية ١,٦٧ م³/رأس عند درجة حرارة صغرى ١٠°م بالنسبة لنظم حظائر بولاية داكوتا الجنوبية.

وتعمل عدة وسائل لتوفير الطاقة عن طريق تبادل درجة حرارة هواء الدخول إلى المنشأة (أمثلة: نظم شمسية ومبادلات حرارية وأنابيب مدفونة تحت الأرض وغيره) (١٥). ولابد عند التقييم الاقتصادي لتلك الأنواع من البدائل من الفصل بين الطاقة المفقودة من هيكل المبنى والطاقة المفقودة مع هواء التهوية. وقد تأثر الطاقة المفقودة من هيكل المبنى بالسبل المستخدمة في توفير الطاقة وخاصة إذا كانت تلك الوسيلة (مثال. مجمع شمسي) جزءاً من هيكل المبنى.

وتعتبر عملية تقييم كفاءة سبل توفير الطاقة والتي تعتمد على خفض أو موازنة الطاقة المفقودة خلال التهوية من العمليات الصعبة. وترتبط معظم البيانات المتاحة

ينظم تهوية محددة ووسائل توفير طاقة قد تم اختبارها في فترة زمنية قصيرة. وتم أخذ متوسطات تلك النتائج بالنسبة للنسبة للزمن لتقدير الخفض السنوي في استخدامات الطاقة الأخرى. ويمكن للتسهيل فصل التحليل إلى عنصرين :

١- القيمة الاقتصادية لمستوى معين من خفض طاقة الوقود.

٢- التكلفة الاقتصادية للحصول على مستوى معين من خفض طاقة الوقود.

وتنحصر الصعوبة في ضرورة إيجاد وسيلة لتحديد مستويات خفض طاقة الوقود بالنسبة لنظام تهوية. ولاتصف الطرق العامة التي تستخدم تخفيضات النسب بدقة كافية الأداء أو التأثير الاقتصادي لوسائل توفير تلك الطاقة.

ولا بد عند استخدام أي وقود من تجميعه، ثم معاملته، ثم تخزينه، ثم وضعه في المحرقة، ثم التخلص من نواتج الاحتراق. وتتم عملية التجميع والمعاملة والتخزين والتخلص من نواتج الاحتراق بالنسبة لأنواع الوقود الحالية - مثل الغاز الطبيعي والوسائل والزيوت - باستخدام ترتيبات إدارية مبسطة. ولكن قد يعني استخدام وقود مثل الخشب أو الفحم أو بقايا محاصيل وجوب رفع مستوى الإدارة المطلوب. ويجب أن يتم تشغيل وإيقاف نظام التدفئة خلال اليوم مع التغيرات اليومية التي تحدث لدرجة الحرارة. وقد يؤدي ذلك إلى تعقيد إدارة معظم بدائل نظم الطاقة.

وقد تبدو الطاقة الشمسية مصدراً مهماً للطاقة بالنسبة للمنشآت الزراعية، ولكن قد تحد الناحية الاقتصادية من تطبيقات ذلك المصدر. وقد تتيح بعض التعديلات على المنشآت وجود طريقة لتجميع الطاقة الشمسية. وقد تم تطوير نظم شمسية تستخدم حائطاً جانبياً من المكعبات الخزمانية في المنشأة لتوفير كل من نظام تجميعي شمسي وخزان حراري^(١٦). وقد تتضمن نظم شمسية أخرى تجميع وتخزين الطاقة في وحدة قائمة بذاتها تعمل على توزيع الحرارة على مدار اليوم^(١٧). وتُتيح استخدام نظام شمسي بدون وجود وسيلة لتخزين الطاقة تولد طاقة حرارية أكبر من المطلوب وخاصة في نهار الأيام الصافية مع عدم توافر الطاقة في الليل.

وتُصمَّم المبادلات الحرارية لتحريك الحرارة من هواء العادم إلى الهواء الداخل. وقد تعتبر المبادلات قادرة على استخلاص من ٣٠ إلى ٧٠٪ من الحرارة المفقودة مع هواء العادم. ويعتبر استخدام مساحة كبيرة من الألواح المطلوبة لتبادل الحرارة بين الهواء الداخل والخارج إحدى المشاكل الكبرى المرتبطة باستخدام

المبادلات الحرارية. والمشكلة الأخرى في استخدام المبادلات الحرارية هي عملية تراكم الأتربة والرطوبة على الأسطح، مما قد يؤدي إلى خفض كفاءة استخلاص الحرارة وعدم الراحة نتيجة لعمليات التنظيف المستمرة المطلوبة. ويكون البديل الآخر استخدام أنابيب مدفونة تحت الأرض إما لتدفئة أو لتبريد الهواء الداخل إلى المنشآت الزراعية. ولا بد من دفن الأنابيب عند عمق حيث التغيرات في درجة حرارة التربة محدودة، وذلك للاستفادة القصوى من ميزة تغيرات درجة حرارة الأرض السنوية. وتعتبر الخصائص التصميمية التي يعتمد عليها هذا النظام حالياً محدودة وتتمتع من إجراء تقييم فعلي للجذوى الاقتصادية.

اقتصاديات (Economics)

تعتبر عملية الوصول لنظام تهوية مثالي في الزراعة من الناحية الاقتصادية أكثر تعقيداً من الوصول بكمية الطاقة الكلية المستهلكة لكل وحدة إنتاج إلى الحد الأدنى. ومع ذلك يعتبر من المهم الوصول إلى النظام الأمثل اقتصادياً؛ نظراً لأن ذلك يعتبر المعيار المستخدم بواسطة المنتجين عند تقييم نظام تهوية زراعي. ويشرح (Hellickson) في الخطوات التالية طريقة تحليل تكلفة العمر الافتراضي التي يمكن تطبيقها على المنشآت الزراعية^(١٤).

١- جزء مدفوع مقدماً، وهو عبارة عن الجزء من تكاليف الاستثمار الثابتة والتي تُسدد مباشرة.

٢- جزء في صورة استثمار الائتمان الضريبي، وهو عبارة عن اعتماد ضريبة الدخل المتاحة والمستخدمة بواسطة عامل المزرعة.

٣- جزء في صورة قيمة المنشأة بعد الاستهلاك، وهي عبارة عن قيمة المنشأة عند نهاية عمرها الافتراضي.

٤- معدل التضخم العام، وهو عبارة عن معدل التضخم السائد.

٥- قيمة التأمين، وهو عبارة عن قيمة قسط التأمين، ويعبر عنه كنسبة من التكلفة الثابتة للمنشأة.

٦- معدل الفائدة على المبلغ المُقترض، وهو عبارة عن معدل الفائدة المدفوع على المبلغ المُقترض لشراء أو إنشاء المنشأة.

٧- العمر الاستهلاكي، وهو عبارة عن عمر المنشأة بالنسبة لأغراض استهلاك ضريبة الدخل.

٨- فترة الاقتراض، وهي عبارة عن فترة سداد القرض.

٩- الفترة التي بُني عليها التحليل الاقتصادي، وعادة يعبر عنها إما بعمر المنشأة أو ٢٠ سنة، أيهما أقل. وقد لا تكون تلك الفترة بالضرورة فترة الاقتراض أو عمر الاستهلاك.

١٠- معدل الضريبة العقارية، وهو عبارة عن ضريبة العقار أو الملك الفعلية التي يمكن فرضها على المنشأة كنسبة من القيمة الابتدائية.

١١- معدل تضخم أسعار الطاقة، وهو عبارة عن معدل تضخم نوع أو أنواع الطاقة المستخدمة في المنشأة.

١٢- معدل تضخم تكاليف الصيانة.

١٣- تضخم تكاليف التشغيل.

١٤- معدل ضريبة الدخل المتزايد، وهو عبارة عن ضريبة الدخل المتزايدة والتي يخضع لها مالك المنشأة.

١٥- معدل التزيلات أو التخفيضات، وهو عبارة عن معدل الفقد النقدي بالنسبة للمالك فيما لو تم استثمار المبلغ المدفوع في تكاليف الاستثمار الثابتة في أفضل البدائل.

وتعادل وفورات العمر الافتراضي بالنسبة لكفاءة استخدام طاقة أجهزة التهوية كلاً من تكاليف العمر الافتراضي للأجهزة المقارنة أو التجارية مطروح منها تكاليف العمر الافتراضي الخاصة بتصميم كفاءة استخدام الطاقة. ويمكن حساب عوامل ذات قيمة حالية بالنسبة لنظم بديلة من المتغيرات التي تم وصفها آنفاً، والتي يمكن تطبيقها على التكاليف الثابتة والمتغيرة بالنسبة لكل نظام. وتسمح عملية دمج هذه الطريقة من التحليل الاقتصادي مع النموذج بيئة- طاقة التي تم وصفه في هذه الفقرة بعملية تقييم شامل بالنسبة لتصميم وإدارة التهوية.

المراجع

- 1 Dayton Electric Mfg. Co. 1982. Fan characteristics data for blower model 3C153. Dayton Electric Mfg. Co., 5959 W. Howard St., Chicago, IL 60648.
- 2 Baughman, G. R. and C. R. Parkhurst. 1971. Energy consumption in broiler production. *TRANSACTIONS of the ASAE* 20(2):341-344.
- 3 Doyle, M. 1980. Personal communication regarding the measured fan efficiencies for several commercially available fans. Aerovent, 929 Terminal Road, Lansing, MI 48906.
- 4 ASAE Data D 270.4. 1981. Design of ventilation systems for poultry and livestock shelters. *AGRICULTURAL ENGINEERS YEARBOOK*, ASAE pp. 373-391.
- 5 Esmay, M. L. 1977. *Principles of Animal Environment*, 2nd ed., Ch. 16 "Energy Conservation Principles". AVI Publishing Co., Westport, CT.
- 6 Reece, F. N. and J. W. Deaton. 1976. Effects of temperature on growth of the domestic chicken. *Progress in animal biometeorology*, Volume 1, pp. 337-342. Swets and Zeitlinger, Amsterdam.
- 7 Bundy, D. 1978. Designing ventilation systems in farrowing buildings for energy conservation. ASAE Paper MN-78-301, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
- 8 Person, H., Jacobson, L. and K. Jordan. 1977. Effect of duct, louvers and other attachments on fan performance. ASAE Paper 77-4569, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
- 9 Lubinus, L. and N. Teter. 1975. Ventilation problems in swine housing. ASAE Paper 75-4570, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
- 10 Christianson, L. L. and M. A. Hellickson. 1977. Simulation and optimization of energy requirements for livestock housing. *TRANSACTIONS of the ASAE* 20(2):327-335.
- 11 Teter, N. and J. DeShazer. 1976. Animal performances models. ASAE Paper No. 76-5013, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
- 12 Christianson, L. L., G. L. Hahn and N. Meador. 1980. Swine performance model for summer conditions. ASAE Paper No. 80-4019, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
- 13 Paine, M. 1971. Mathematical modeling of energy metabolism in beef animals. Unpub. PhD Thesis, Oklahoma State University, Stillwater, OK.
- 14 Hellickson, M. A. 1979. Cost/performance goals for agricultural solar collectors. ASAE Paper No. 79-4054, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
- 15 Fehr, R. L. and R. Hunke. 1982. Energy conservation for swine facilities. *Pork Industry Handbook Series*, National Pork Producers Council, 1776 N.W. 114th Street, Des Moines, IA.
- 16 Robbins, F. V. and Spillman, C. K. 1980. Heat and moisture production of sows and litters in a fully-slotted floor farrowing house. ASAE Paper No. 80-4508, ASAE, St. Joseph, MI 49085.
- 17 Hellickson, M. A. 1982. A multiple use solar system for heating livestock buildings. *Proceedings of the 2nd International Livestock Environment Symposium*, ASAE, St. Joseph, MI 49085.

الملاحق

(APPENDICES)

ملحق (أ)

(APPENDIX A)

جدول يبين درجات الحرارة التصميمية والارتفاعات الزاوية لشمس الظهيرة بالنسبة لمواقع مختارة في الولايات المتحدة.

درجة الحرارة، °م				ارتفاع زاوية شمس الظهيرة			
الموقع	شتاء		صيف		متوسط يونيو يناير ٢١	مارس ٢١ سبتمبر ٢١	
	درجة جافة		درجة رطبة				
	%٩٧,٥	%٩٩	%٩٧,٥	%٩٧,٥			
آلاباما							
برمنجهام	٨,٣-	٦,١-	٣٤,٤	٢٥,٥	٦,٨	٨٠	٥٦,٥
هانتسفيل	١١,٧-	٨,٩-	٣٣,٩	٢٥,٥	٤,٩	٧٨,٨	٥٥,٣
موبيل	٣,٩-	١,٧-	٣٣,٩	٢٦,١	١٠,٧	٨٢,٨	٥٩,٣
مونتجمري	٥,٦-	٣,٩-	٣٥,٥	٢٦,١	٨,٦	٨١,١	٥٧,٧
آلاسكا							
انكورج	٣٠,٦-	٢٧,٨-	٢٠,٥-	١٥,٥	١١,٢-	٥٢,٣	٢٨,٨
فيربانكس	٤٦,١-	٤٣,٩-	٢٥,٦	١٦,٧	٢٤,٤-	٤٨,٦	٢٥,٢
جونيو	٢٠,٥-	١٧,٢-	٢١,١	١٥,٥	٤,٧-	٥٥,١	٣١,٧
نام	٣٥,٥-	٣٢,٨-	١٦,٧	١٣,٣	١٤,٤-	٤٩,٥	٢٥,٥
آريزونا							
فلاجستاف	١٨,٩-	١٥,٦-	٢٧,٨	١٥,٦	٢,٣-	٧٨,٣	٥٤,٨
فينيكس	٥,٦-	١,١	٤١,٧	٢٣,٩	١٠,٧	٨٠	٥٦,٥
تاكسون	٢,٢-	صفر	٣٨,٩	٢١,٧	١٠,٥	٨١,٣	٥٧,٨
أركنساس							
فورت سميث	١١,١-	٨,٣-	٣٦,٧	٢٦,١	٣,٩	٧٨,١	٥٤,٧
ليتلروك	٩,٤-	٦,٧-	٣٥,٦	٢٦,١	٤,٢	٧٨,٨	٥٥,٣
كاليفورنيا							
بيكرسفيلد	١,١-	صفر	٣٨,٣	٢١,٧	٨,٦-	٧٨,١	٥٤,٧
يوريكا	٥,٦-	٥,٦	١٨,٣	٢١,١	٨,٥	٧٢,٥	٤٩
فريسنو	٢,٢-	١,١-	٣٧,٨	٢١,٧	٧,٤	٧٦,٦	٥٣,٢

تابع ملحق (١)

ارتفاع زاوية شمس الظهيرة			درجة الحرارة، °م				الموضع
مارس ٢١ سبتمبر ٢١	يونيو ٢١	متوسط يناير	صيف		شتاء		
			درجة جافة درجة رطبة		درجة جافة		
			%٩٧,٥	%٩٧,٥	%٩٧,٥	%٩٩	
٥٦,٠	٧٩,٥	١٢,٥	٢٠,٦	٢٦,٧	٦,١	٥,٠	لوس انجيلوس
٥٢,٣	٧٥,٨	٩,٢	١٧,٨	٢٦,٧	٢,٢	١,١	أوكلاهوما
٥١,٥	٧٥,٠	٧,٣	٢١,٧	٣٦,٧	صفر	١,١-	سكرامنتو
٥٧,٣	٨٠,٨	١٢,٩	٢١,١	٢٦,٧	٦,٧	٥,٦	سان دييغو
٥٢,٣	٧٥,٨	٩,١	١٧,٨	٢٥,٠	٣,٣	١,٧	سان فرانسيسكو
٥٥,٢	٧٨,٦	١٠,٣	١٧,٨	٢٤,٤	٠,٦	٠,٦-	سانتا ماريا
٥٥,٢	٧٥,٦	٧,٠	٢١,١	٢٦,١	١,١-	٢,٢-	ستوكهولم
٥٢,٥	٧٦,٠	٨,٢-	١٦,١	٢٧,٨	٢٦,٧-	٢٩,٤-	كولورادو
٥٠,٢	٧٣,٦	١,٢-	١٧,٢	٣٢,٨	١٧,٢-	٢٠,٦-	آلاموسا
٥٠,٨	٧٤,٣	٣,٠-	١٧,٢	٣٤,٤	١٣,٩-	١٦,٧-	ديترويت
٥١,٧	٧٥,١	١,١-	١٨,٩	٣٥,٠	١٧,٨-	٢١,٧-	جراند جانكشن
٤٨,٨	٣٢,٣	١,٠-	٢٣,٣	٢٨,٩	١٢,٨-	١٤,٤-	بيبلو
٤٨,٢	٧١,٦	٤,٠-	٢٣,٩	٣١,١	١٣,٩-	١٦,١-	كناكياكات
٥٠,٣	٧٣,٨	صفر	٢٤,٤	٣١,٧	١٠,٠-	١٢,٢-	بريدج بورت
٥١,٢	٧٤,٦	٢,٠	٢٥,٠	٣٢,٨	٨,٣-	١٠,٠-	هارت فورد
٦٠,٨	٨٤,٣	١٤,٧	٢٦,١	٣٢,٢	١,٧	صفر	ديلاويرا
٦٣,٣	٨٦,٨	١٧,٥	٢٦,١	٣٣,٣	٦,٧	٥,٠	ويل منجوتون
٦٠,٠	٨٣,٠	١٢,٦	٢٦,١	٣٤,٤	صفر	١,٧-	حي كولومبيا
٦٥,٥	٨٩,٠	٢١,٥	٢٦,١	٣٢,٢	١٣,٩	١٢,٨	واشنطن
٦٢,٠	٨٥,٥	١٦,٠	٢٥,٦	٣٢,٨	٥,٠	٣,٩	فلوريندا
٦٤,٢	٨٧,٦	١٩,٦	٢٦,١	٣٢,٢	٨,٣	٦,٧	شاطيء ديتونا
٦١,٥	٨٥,٠	١٥,٧	٢٥,٦	٣٣,٩	٣,٣	١,٧	فورت ميارس
٥٩,٥	٨٣,٠	١١,٢	٢٦,١	٣٣,٩	١,٧-	٣,٩-	چاكسون فيل
٥٩,٧	٨٣,١	٨٣,١	٢٥,٦	٣٣,٣	١,١-	٢,٨-	كي ويست
٦٢,٠	٨٥,٥	٨٥,٥	٢٦,١	٣٢,٨	٤,٤-	٢,٢	ليك لاند
							ميامي
							أورلاندو
							بنساكلو
							طالاهاسي
							طامبا

تابع ملحق (١) .

ارتفاع زاوية شمس الظهيرة

درجة الحرارة، °م

الموضع	شتاء		صيف		متوسط يناير	يونيو ٢١	مارس ٢١ سبتمبر
	درجة جافة		درجة رطبة				
	%٩٧,٥	%٩٧,٥	%٩٧,٥	%٩٧,٥			
چورچيا	٨,٣-	٥,٦-	٣٣,٣	٢٤,٤	٥,٨	٧٩,٨	٥٦,٣
أطلانتا	٦,٧-	٥,٠-	٣٥,٠	٢٦,١	٧,٧	٨٠,١	٥٦,٧
أوجوستا	٦,١-	٤,٤-	٣٣,٩	٢٥,٦	٨,٣	٨١,٠	٧٥,٥
كولومبوس	٦,١-	٣,٩-	٣٣,٩	٢٥,٦	٨,٨	٨٠,٨	٥٧,٣
ماكون	٤,٤-	٢,٨-	٣٣,٩	٢٦,١	٩,٩	٨١,٣	٥٧,٨
سافانا							
هاواي	١٦,١	١٦,٧	٢٨,٣	٢٣,٣	٢١,٨	٩٣,٨	٧٠,٣
هيلو	١٦,٧	١٧,٢	٣٠,٠	٢٣,٩	٢٢,٤	٩٢,١	٦٨,٧
هونولولو							
أيداهو	١٦,١-	١٢,٢-	٣٤,٤	١٨,٩	١,٧-	٧٠,٠	٤٦,٥
بوين	١٨,٣-	١٤,٤-	٣٣,٩	١٨,٩	٠,٤-	٦٧,١	٤٣,٧
لويسون	٢٢,٢-	١٨,٣-	٣٢,٨	١٧,٢	٤,٩-	٧٠,٥	٤٧,٠
بوكاتيلو							
النيويس	٢٢,٢-	٢٠,٠-	٣١,٧	٢٤,٤	٥,١-	٧١,٥	٤٨,٠
شيكاغو	٢٢,٨-	٢٠,٠-	٣٢,٨	٢٥,٠	٥,٨-	٧٢,٠	٤٨,٥
مولينو	٢٢,٢-	٢٠,٠-	٣١,٧	٢٤,٤	٤,٦-	٧٢,٨	٤٩,٣
بيوريا	١٩,٤-	١٦,٧-	٣٣,٣	٢٥,٠	٢,٩-	٧٣,٦	٥٠,٢
سبرينج فيلد							
انديانا	١٥,٦-	١٢,٨-	٣٣,٩	٢٥,٦	٠,٣	٧٥,٥	٥٢,٠
إيفانسفيل	٢٠,٠-	١٧,٢-	٣١,٧	٢٣,٩	٣,٧-	٧٢,٥	٤٩,٠
فورت واين	١٨,٩-	١٦,٧-	٣٢,٢	٢٤,٤	٢,٣-	٧٣,٨	٥٠,٣
إنديانا بوليس	١٩,٤-	١٧,٢-	٢٣,٩	٢٣,٩	٤,٤-	٧١,٨	٤٨,٣
ثاوث بند							
أيوا	٢١,٧-	١٩,٤-	٣٢,٨	٢٥,٠	٥,١-	٧٢,٦	٤٩,٢
بيرلنجتون	٢٣,٣-	٢٠,٦-	٣٢,٨	٢٥,٠	٧,٠-	٧٢,٠	٤٨,٥
ديس موينيس	٢٤,٤-	٢١,٧-	٣١,١	٢٣,٩	٧,٩-	٧١,١	٤٧,٧
دابك							

تابع ملحق (١).

ارتفاع زاوية شمس الظهيرة			درجة الحرارة، °م				
مارس ٢١ سبتمبر ٢١	يونيو ٢١	متوسط يناير	صيف		شتاء		الموقع
			درجة جافة		درجة جافة		
			درجة رطبة		درجة جافة		
			%٩٧,٥	%٩٧,٥	%٩٧,٥	%٩٩	
٤٧,٧	٧١,١	٧,٨-	٢٥,٠	٣٣,٣	٢١,٧-	٢٣,٩-	سيوكس سيتي
٤٧,٥	٧١,٠	٨,٧-	٢٥,٠	٣١,٧	٢٣,٣-	٢٦,١-	ووترلو
٥٢,٢	٧٥,٦	٠,٧-	٢٨,٨	٣٦,١	١٥,٠-	١٧,٨-	كانساس
٥٠,٧	٧٤,١	٢,٤-	٢١,١	٣٥,٦	١٧,٨-	٢٠,٦-	دودج سيتي
٥١,٠	٧٤,٥	٢,٢-	٢٥,٦	٣٥,٦	١٥,٦-	١٧,٨-	جودلاند
٥٢,٣	٧٥,٨	٠,٤-	٢٤,٤	٣٦,٧	١٣,٩-	١٦,١-	توييكا
٥١,٠	٧٤,٥	٠,٥-	٢٣,٩	٣٢,٢	١٤,٤-	١٧,٢-	ويشيتا
٥٢,٠	٧٥,٥	٠,٥	٢٤,٤	٣٢,٨	١٣,٣-	١٦,١-	كنتاكي
٥١,٨	٧٥,٣	٠,٧	٢٥,٠	٣٣,٩	١٢,٢-	١٥,٠-	كوفينجتون
٥٩,٥	٨٣,٠	١٠,٦	٢٦,٧	٣٣,٩	١,٧-	٣,٩-	ليكسنجتون
٥٩,٨	٨٣,٣	١١,٣	٢٦,١	٣٣,٩	٠,٦-	٢,٨-	لويس فيل
٦٠,٠	٨٣,٥	١١,٦	٢٦,٧	٣٣,٣	٠,٦	١,٧-	لويزيانا
٧٥,٥	٨١,٠	٨,٤	٢٦,١	٣٥,٦	٣,٩-	٦,٧-	باتون روج
٤٣,٢	٦٦,٦	١١,٨-	٢٠,٦	٢٧,٢	٢٥,٠-	٢٧,٨-	ليك شارلس
٤٦,٣	٦٩,٨	٥,٨-	٢٢,٢	٢٨,٩	١٨,٣-	٢١,١-	نيو أورلنس
٥٠,٨	٧٤,٣	٠,٨	٢٥,٠	٣٢,٨	١٠,٦-	١٢,٢-	شريفبورت
٤٧,٧	٧١,١	١,٦-	٢٣,٣	٣١,١	١٢,٨-	١٤,٤-	مين
٤٧,٧	٧١,١	٤,٧-	٢٢,٢	٢٨,٩	١٥,٦-	١٧,٨-	كاريبو
٤٧,٧	٧١,١	٣,٦-	٢٣,٣	٣١,١	١٤,٤-	١٦,١-	بورتلاند
٤٧,٢	٧٠,٦	٤,٩-	٢٣,٣	٣١,١	١٥,٠-	١٧,٢-	ميريلاند
٤٧,٢	٧٠,٦	٥,٢-	٢٣,٣	٣٠,٦	١٧,٢-	١٩,٤-	بالتيمور
٤٣,٥	٦٧,٠	٧,٦-	٢١,١	٢٧,٢	٢٢,٢-	٢٤,٤-	ماساتشوستس

تابع ملحق (١)

ارتفاع زاوية شمس الظهيرة				درجة الحرارة، °م				الموضع
مارس سبتمبر ٢١	متوسط يونيو يناير ٢١	صيف		شتاء				
		درجة رطبة		درجة جافة				
		%٩٧,٥	%٩٧,٥	%٩٧,٥	%٩٩			
٤٣,٥	٦٧,٥ ٩,٩-	٢١,١	٢٧,٢	٢٢,٢-	٢٤,٤-	سولت ستي. ماريا		
٤٣,٢	٦٦,٦ ١٣,١-	٢١,١	٢٧,٨	٢٦,٧-	٢٩,٤-	ميني سوتا		
٤١,٥	٦٥,٥ ١٦,٧-	٢١,١	٢٨,٣	٣١,٧-	٣٣,٩-	دولوث		
٤٥,٢	٦٨,٦ ١١,٥-	٢٣,٩	٣١,٧	٢٤,٤-	٢٦,٧-	إنترناشيونال فولس		
٤٦,٥	٦٩,٥ ١٥,٦-	٢٣,٩	٣٥,٦	٢٤,٤-	٢٧,٢-	مينيوليس ست بول		
٤٤,٣	٦٧,٨ ١٢,٨-	٢٣,٣	٣١,١	٢٣,٩-	٢٦,١-	روشمستر		
٥٧,٧	٨١,١ ٨,٤	٢٥,٦	٣٥,٥	٣,٩-	٦,١-	سنت كلاود		
٥٧,٧	٨١,١ ٨,٣	٢٦,١	٣٥,٥	٥,٥-	٧,٢-	ميسيسيبي		
٥١,٥	٧٤,٥ ١,٥-	٢٥,٥	٣٤,٤	١٥,٦-	١٨,٣-	جackson		
٥٠,٨	٧٤,٣ ٢,٧-	٢٥,٥	٣٥,٦	١٤,٤-	١٦,٧-	ميريديان		
٥٠,٨	٧٤,٦ ٥,٤-	٢٥,٥	٣٤,٤	١٤,٤-	١٦,٧-	ميزوري		
٥٢,٨	٧٦,٣ ٥,٥	٢٥,٥	٣٣,٩	١٢,٨-	١٦,١-	كولومبيا		
٤٤,٢	٦٧,٦ ٥,٦-	١٨,٩	٣٢,٨	٢٣,٣-	٢٦,١-	كانسيس ستي		
٤١,٨	٦٥,٣ ١٢,٧-	١٨,٩	٣١,٧	٢٧,٨-	٣٥,٥-	سانت لويس		
٤٢,٥	٦٦,٥ ٦,٤-	١٦,٧	٣١,١	٢٦,١-	٢٩,٤-	سبرغ فيلد		
٤١,٧	٦٥,١ ٧,٢-	١٧,٢	٣٥,٦	٢١,٧-	٢٥,٦-	مونثانا		
٤٣,٥	٦٧,٥ ٩,٢-	٢٥,٥	٣٥,٥	٢٦,١-	٢٨,٩-	بيلينجس		
٤٣,٢	٦٦,٦ ٦,٢-	١٧,٢	٣١,١	٢١,١-	٢٥,٥-	جلاسجو		
٤٩,٥	٧٢,٥ ٥,٤-	٢٣,٣	٣٤,٤	١٩,٤-	٢٢,٢-	جريت فولس		
٤٩,٢	٧٢,٦ ٥,٤-	٢٥,٥	٣٥,٥	١٨,٩-	٢٥,٦-	كاليسيل		
٤٨,٥	٧١,٥ ٧,٣-	٢٥,٥	٣٣,٩	٢٥,٥-	٢٨,٩-	ميليسيني		
٤٨,٨	٧٢,٣ ٤,٨-	٢٢,٢	٣٤,٤	٢٥,٥-	٢٥,٥-	ميسولا		
٤٨,٧	٧٢,١ ٥,٢-	٢٥,٥	٣٢,٨	١٩,٤-	٢٢,٢-	نبراسكا		
٤٨,٢	٧١,٦ ٣,٩-	٢٥,٥	٣٣,٣	١٩,٤-	٢٢,٢-	جراند ايلاند		
						لينكولن		
						نورفولك		
						نورث بلت		
						أوماها		
						سكوت بلوف		

تابع جدول (١)

الموضع	درجة الحرارة، °م				ارتفاع زاوية شمس الظهيرة		
	شتاء		صيف		متوسط يناير	يونيو	مارس ٢١ سبتمبر ٢١
	درجة جافة	درجة رطبة	درجة جافة	درجة رطبة			
	%٩٩	%٩٧,٥	%٩٧,٥	%٩٧,٥			
أوهايو	١٧,٢-	١٤,٤-	٣٠,٠	٢٨,٨	٣,٢-	٧٢,٥	٤٩,٠
أكرون	١٧,٢-	١٤,٤-	٣٢,٢	٢٣,٩	٠,١	٧٤,٣	٥٠,٨
سينكاتي	١٧,٢-	١٥,٠-	٣١,١	٢٣,٣	٢,٨-	٧٢,١	٤٨,٧
كليفلاند	١٧,٨-	١٥,٠-	٣٢,٢	٢٣,٩	٢,٠-	٧٣,٥	٥٠,٠
كولومبوس	١٨,٣-	١٥,٦-	٣١,٧	٢٣,٩	٢,٢-	٧٣,٦	٥٠,٢
دايتون	١٧,٨-	١٥,٠-	٣٠,٦	٢٣,٣	٢,٢-	٧٢,٦	٤٩,٢
مانسفيلد	١٩,٤-	١٧,٢-	٣١,١	٢٣,٩	٤,٠-	٧١,٨	٤٨,٣
توليدو	١٨,٣-	١٥,٦-	٣٠,٠	٢٢,٨	٣,٥-	٧٢,١	٤٨,٧
يوجنسطن	١٢,٨-	١٠,٦-	٣٦,١	٢٥,٠	٢,٧	٧٨,١	٥٤,٧
أوكلاهوما	١٣,٣-	١٠,٦-	٣٦,٧	٢٥,٦	٢,٦	٧٧,٣	٥٣,٨
مدينة أوكلاهوما	٣,٩-	١,٧-	٢١,٧	١٧,٢	٤,٨	٦٧,٣	٤٣,٨
تولسا	٨,٣-	٥,٦-	٣١,٧	١٩,٤	٤,١	٦٩,٣	٤٥,٨
أوريجون	٧,٢-	٥,٠-	٣٤,٤	٢٠,٠	٢,٦	٧١,١	٤٧,٧
أستوريا	١٨,٩-	١٥,٠-	٣٣,٩	١٨,٣	صفر	٦٧,٨	٤٤,٣
أيجين	٨,٣-	٥,٠-	٢٩,٤	١٩,٤	٣,٤	٦٧,٨	٤٤,٣
مدفورد	٧,٨-	٥,٠-	٣١,١	٢٠,٠	٣,٨	٦٨,٥	٤٥,٠
بيندلتون	١٥,٦-	١٢,٨-	٣١,١	٢٣,٩	٢,٣-	٧٢,٨	٤٩,٣
بورتلاند	١٥,٦-	١٢,٨-	٢٩,٤	٢٣,٣	٣,٨-	٧١,٣	٤٧,٨
سالم	١٣,٩-	١١,٧-	٣٢,٨	٢٤,٤	١,١-	٧٣,٣	٤٩,٨
بنسلفانيا	١٢,٢-	١٠,٠-	٣٢,٢	٢٤,٤	٠,٢	٧٣,٦	٥٠,٢
آلين تاون	١٧,٢-	١٥,٠-	٣٠,٠	٢٢,٨	٢,٢-	٧٣,٠	٤٩,٥
أربا	١٦,٧-	١٣,٩-	٣١,٧	٢٣,٣	٢,٧-	٧٢,٣	٤٨,٨
هاريسبرج	١٥,٠-	١٢,٨-	٣٠,٠	٢٣,٣	٢,٠-	٧٢,٣	٤٨,٨
فيلاديلفيا	١٢,٢-	١٠,٠-	٣٢,٢	٢٤,٤	٠,٢	٧٣,٦	٥٠,٢
بنسبرج	١٧,٢-	١٥,٠-	٣٠,٠	٢٢,٨	٢,٢-	٧٣,٠	٤٩,٥
ويليامسبورت	١٦,٧-	١٣,٩-	٣١,٧	٢٣,٣	٢,٧-	٧٢,٣	٤٨,٨
رود آيلاند	١٥,٠-	١٢,٨-	٣٠,٠	٢٣,٣	٢,٠-	٧٢,٣	٤٨,٨
بروفيدانس	٤,٤-	٢,٨-	٣٢,٨	٢٦,٧	٩,٢	٨٠,٦	٥٧,٢
كارولينا الجنوبية	٦,٧-	٤,٤-	٣٥,٠	٢٥,٦	٧,٤	٧٩,٥	٥٦,٠
كارلسطن							
كولومبيا							

تابع جدول (١) .

ارتفاع زاوية الشمس الظهيرة			درجة الحرارة، °م			الموقع
مارس سبتمبر ٢١	يونيو ٢١	متوسط يناير	صيف		شتاء درجة جافة %٩٧,٥ %٩٩	
			درجة جافة			
			%٩٧,٥	%٩٧,٥		
٥٢,٧	٧٦,١	٢,٤	١٨,٣	٣٢,٨	٨,٩- ١١,١-	رونوك
٤٣,٠	٦٦,٥	٢,٩	٢٢,٢	٢٨,٣	٥,٦- ٨,٩-	واشنطن
٤٢,٥	٦٦٦,٠	٣,٤	٢٥,٦	٢٦,٧	٣,٣- ٦,١-	أولبيا
٤٢,٣	٦٥,٨	٣,٧-	٢٥,٦	٣٢,٢	١٦,٧- ٢١,١-	سيتل
٣,٥	٦٧,٠	٢,٥-	٢٣,٣	٣٣,٩	١٥,٠- ١٨,٩-	سبوركن
						ياكيما
٥١,٧	٧٥,١	١,٤	٢٣,٩	٣٢,٢	١١,٧- ١٣,٩-	ويست فيرجينيا
٥١,٢	٧٤,٦	١,١-	٢٢,٢	٢٨,٩	١٤,٤- ١٧,٢-	كارلستون
٥٠,٧	٧٤,١	٠,٥	٢٤,٤	٣٢,٢	١١,٧- ١٣,٩-	الكينس
						باركر سبيرج
٤٥,٥	٦٩,٠	٩,٢-	٢٣,٣	٢٩,٤	٢٢,٨- ٢٥,٠-	ويسكونسن
٤٦,٢	٦٩,٦	٨,٨-	٢٣,٩	٣١,١	٢٢,٨- ٢٥,٠-	جرين باي
٤٦,٨	٧٠,٣	٨,٤-	٢٣,٩	٣١,١	٢١,٧- ٢٣,٩-	لاكروس
٤٧,٠	٧٠,٥	٧,٠-	٢٣,٣	٣٠,٦	٢٠,٠- ٢٢,٢	ماديسون
						ميل واكي
٤٧,٢	٧٠,٦	٤,٩-	١٦,١	٣٢,٢	٢٠,٦- ٢٣,٩-	يومينج
٤٨,٨	٧٢,٣	٣,٠-	١٦,٧	٣٠,٠	١٨,٣- ٢٢,٨-	كامبر
٤٥,٢	٦٨,٦	٦,١-	١٨,٣	٣٢,٨	٢٢,٢- ٢٥,٦-	شيني
						شريدان

ملحق (ب)



شكل رقم ١٦). يانات درجة حرارة الصفيح الرطبة. سوف تزداد درجات الحرارة الموصلة ليس بكثير من ٥٠٪ من عدد الساعات الكلية أثناء الفترة من يناير إلى سبتمبر بالنسبة لفصل صيفي طبيعي (البيانات الجاهزة من Acme Engineering and Mfg. Corp.)



شكل (د ي ٢). بيانات درجة حرارة الصيف ابلال. سوف توفد درجات الحرارة الموضحة لى باكثر من ٥٠٪ من الالى قلى ساعه اثناء منتصف نهار يوم فى الفترة من يونيو الى سبتمبر بالنسبة لقمم سينيلىي (Acme Engineering and Mfg. Corp.)

ملحق (ج)

قائمة الرموز المستخدمة في مجال تهوية المنشآت الزراعية ودلالاتها

الرمز	الدلالة
A	مساحة أو ثابت
A _a	مساحة مدخل
A _c	مساحة سطحية لحيز
A _f	مساحة أرضية
A _g	مساحة أرضية مبللة
A _s	مساحة سطحية
AD	انحدار مطلق في إنتاج اللبن
AU	معامل فقد حراري
b	عرض حاجز
B	ثابت
B _i	عرض مدخل
B _s	عرض فتحة سقف
C	معامل فقد ديناميكي

الرمز	الدلالة
C_b	الحرارة النوعية لكتلة الجسم
C_d	معامل تصرف
C_p	الحرارة النوعية للهواء
C_w	الحرارة النوعية لبخار الماء ، تحت ضغط ثابت
d_i	رطوبة مطلقة داخلية
d_o	رطوبة مطلقة خارجية
D	قطر
D_a	قطر خصائص حيوان
E	كفاءة فتحة
EDL	الحرارة المفقودة من خلال جلد
EHL	الحرارة المفقودة بالبخار
ESL	الحرارة المفقودة بالعرق
f	معامل احتكاك ، بدون وحدات
F	نسبة أشغال النبات لأرضية البيت المحمي
g	عجلة الجاذبية
G_r	رقم جريشوف
h	معامل انتقال الحرارة بالحمل
h_a	المحتوى الحراري للهواء الجاف

الرمز	الدلالة
h_f	الفاقد نتيجة الاحتكاك
h_g	المحتوى الحراري لبخار الماء
h_i	المحتوى الحراري للهواء الداخلي
h_o	المحتوى الحراري للهواء الخارجي
h_{tp}	المحتوى الحراري عند نقطة الانقلاب
h_w	المحتوى الحراري لרטوبة الهواء
h_x	معامل الحمل المدفوع
H	فرق ارتفاع
I	كثافة أشعة الشمس
J	معدل الشغل الميكانيكي
k	معامل التوصيل الحراري
k_a	معامل التوصيل الحراري للهواء
K	ثابت التحويل إلى الدرجة المطلقة
K_d	معامل الانتشار
K_x	معامل التوصيل لسطح تلامس
l	طول
L	نسبة الفقد في الوزن الكلي في الأسبوع
m	الكتلة

الرمز	الدلالة
m_a	كتلة الهواء الجاف
m_w	كتلة بخار الماء
M	معدل سريان الكتلة
M_m	القوة الدافعة ، ومعامل النفاذية
M_{mx}	القوة الدافعة لنافورة هواء
MHP	تولد طاقة الأيض
MP	تولد الرطوبة لوحدة الحيوان
N	رقم
NL	المستوى الطبيعي من إنتاج اللبن
N_u	رقم ناسلت
P	الضغط
P_a	ضغط الهواء الجاف
P_{at}	ضغط الهواء الجوي
P_g	ضغط البخار المشبع عند درجة حرارة الجو
P_i	الضغط الداخلي
P_o	الضغط الخارجي
P_r	رقم براندل
P_s	ضغط البخار المشبع

الرمز	الدلالة
P_T	ضغط كلي
P_v	ضاغط السرعة
P_w	ضغط بخار الماء
P_{ws}	ضغط بخار مشبع
q	حرارة كامنة ومحسوسة
q_b	حرارة مفقودة خلال حوائط مبني
q_{bd}	انتقال حرارة بالتوصيل
q_{cv}	انتقال حرارة بالحمل
q_e	الحرارة المتولدة من على أسطح الأجهزة
q_{ed}	معدل الحرارة المفقودة بانتشار البخار خلال الجلد
q_{eh}	معدل الفقد الحراري ببخار الماء
q_f	حرارة الأفران
q_g	الحرارة المفقودة من أو إلى الأرض
q_i	حرارة متسربة
q_l	الطاقة الشمسية النافذة
q_l	تولد حرارة كامنة
q_{lv}	حرارة كامنة مضافة لهواء التهوية
q_p	حرارة بناء ضوئي

الرمز	الدلالة
q_t	حرارة تنفس
q_{rt}	انتقال حرارة بالإشعاع
q_s	حرارة محسوسة
q_{sup}	حرارة مضافة
q_{ev}	حرارة محسوسة تستخدم لتدفئة هواء تهوية
q_i	إشعاع حراري إلى السماء
q_v	حرارة مفقودة بالتهوية
q_{ve}	البخر بالتبخ
q_{vi}	حرارة محسوسة لهواء التهوية الداخلي
q_{ve}	حرارة محسوسة لهواء التهوية الخارجي
Q	معدل سريان
Q_q	معدل سريان هواء عند فتحة دخول
Q_{ex}	معدل التهوية لهواء التنفس
Q_p	معدل التهوية لكل حيوان
Q_s	معدل التهوية للحرارة المحسوسة
Q_r	فقد حراري كلي
Q_{vi}	معدل سريان هواء لوحدة الطول
Q_x	معدل سريان هواء عند مسافة x
r	نصف قطر

الرمز	الدلالة
$r_{0.5}$	المسافة من منتصف خط إلى النقطة حيث $V=V_x/2$
R	الثابت العام للغازات
R_a	الثابت العام بالنسبة للهواء
R_e	رقم رينولد
R_w	الثابت العام لبخار الماء
Ref.	مرجع
REL	معدل فقد حراري كامن بالتنفس
RH	رطوبة نسبية
RSL	معدل فقد حراري محسوس بالتنفس
s	معدل العرق لوحدة المساحات من سطح الجلد
S	نسبة البراعم بالوزن
SHL	فقد حراري محسوس
t	زمن
T	درجة حرارة مطلقة
T_a	درجة حرارة الجو
T_b	درجة حرارة الجسم
T_{db}	درجة حرارة جافة
T_o	درجة حرارة حيز مغلق
T_{ex}	درجة حرارة هواء التنفس

الرمز	الدلالة
T_i	درجة حرارة داخلية
T_m	أقل درجة حرارة
T_o	درجة حرارة خارجية
T_r	درجة حرارة غرفة
T_s	درجة حرارة سطح
T_x	درجة حرارة عند نقطة X
T_{wb}	درجة حرارة رطوبة
T_{ref}	درجة حرارة مرجع
THI	مؤشر حرارة - رطوبة
THL	فقد حراري كلي
T	درجة حرارة مطلقة
T_a	درجة حرارة مطلقة للهواء
T_e	درجة حرارة مطلقة لسطح حيز
T_i	درجة حرارة مطلقة داخلية
T_o	درجة حرارة مطلقة خارجية
T_s	درجة حرارة مطلقة لسطح حيوان
T_w	درجة حرارة بخار الماء المطلقة
U	معامل انتقال الحرارة الكلي بالتوصيل
V	حجم

الرمز	الدلالة
V	حجم وحدة الأوزان
V_a	حجم هواء جاف
V_s	حجم نوعي للهواء
V_w	حجم بخار ماء
V	سرعة
V_i	سرعة داخلية
V_o	سرعة خارجية
V_x	سرعة متبقية
V_w	سرعة رياح
VPD	فرق ضغط بخار الماء
w	محتوى رطوبي
W	قدرة أو وزن حيوان
W_a	نسبة رطوبة هواء شهيق/ هواء جوي
W_{ex}	نسبة رطوبة هواء زفير
W_i	نسبة رطوبة داخلية
W_o	نسبة رطوبة خارجية
W_p	ماء مضاف بواسطة التنح
W_T	الافتقد في الوزن/ لوحدة البطاطس
W_{vo}	تبادل رطوبة الهواء بالتهوية

الرمز	الدلالة
W_{wv}	معدل إنتاج بخار الماء
X	سمك أو مسافة من فتحة دخول
α	ثابت توزيع السرعة
β	زاوية ارتفاع الشمس، ومعامل التمدد الحراري
γ	لزوجة الهواء
Δ	فرق
Δp	فرق ضغط
Δt	فرق درجة حرارة
ε	معامل الإصدار
ε_a	معامل الإصدار الجوي الظاهري
ε_s	معامل الإصدار لسطح حيز
ε_i	متوسط الإصدار للأسطح الداخلية
ε_g	معامل الإصدار من سطح الحيوان
θ	معامل الحفض، أو زاوية
λ	حرارة كامنة ليخار الماء
λ_g	حرارة كامنة لتبخير الماء عند درجة حرارة الجلد
μ	لزوجة ديناميكية للهواء
ρ	كثافة هواء
σ	ثابت استفان - بولتزمان

الرمز	الدلالة
τ	النفذية
τ_i	النفذية للإشعاع الحراري
θ	رطوبة نسبية
θ_i	رطوبة نسبية داخلية
θ_o	رطوبة نسبية خارجية
ω	سرعة دورانية

ملحق (د)

تحويل الوحدات من النظام الإنجليزى إلى المترى

الكمية	التطبيق	من: الوحدات القديمة	إلى: النظام العالمى	اضرب في:
المجلة الزاوية	عام	لقة / ث ^٢	ز / ث ^٢	
المجلة الخطية	مركبة	(ميل / ساعة. ث) (كم / ساعة. ث)		* ١,٦٠٩
	عامة (متضمنة عجلة الجاذبية)	قدم / ث ^٢	م / ث ^٢	* ٠,٣٠٤
الزاوية، مستوية	حسابات الدوران	لقة نصف القطر	ز نصف القطر	
هندسية وعامة		(درجة) " (دقيقة) " (ثانية)	° عشرية عشرية	٦٠ / ١ * ٣٦٠٠ / ١
المساحة	أرصعة نقل بضائع، مساحة أسطح وأرضيات عامة مساحة كبيرة مساحة كبيرة للفاية	بوصة ٢ قدم ٢ بوصة ٢ بوصة ٢ فدان ميل ٢	م ٢ م ٢ م ٢ سم ٢ هكتار كم ٢	, ١٠٠٧ , ٠٩٣ * ٦٤٥, ١٦ * ٦, ٤٥ , ٤٠٥ ٢, ٥٩
مساحة لوحدة الزمن	عمليات حقلية عامة	فدان / ساعة	هكتار / ساعة	, ٤٠٥

* وحدات فى صورتها المفضلة للتعبير عن كميات طبيعية

تابع ملحق (د) .

الكمية	التطبيق	من: الوحدات القديمة	إلى: النظام العالمي	المعرب في:
السعة الحرارية		و.ج. أ. / ف°	ك. جول / °ك	١,٨٨٩
السعة الحرارية ، النوعية		و.ج. أ. / رطل . ف°	جول / كجم . °ك	*٤,١٨٩
معامل انتقال الحرارة		و.ج. أ. / (ساعة . قدم ^٢ . ف°)	واط / م ^٢ . °ك	٥,٦٧٨
التوصيل الحراري		و.ج. أ. / قدم / (ساعة . قدم ^٢ . ف°)	واط / م . °ك	١,٧٣١
استهلاك الوقود	مركبات	جالون / ساعة	لتر / ساعة	٣,٧٨٥
الكثافة (كتلة)	صلابة ، عامة : منتجات	رطل / يارد ^٣	كجم / م ^٣	٥,٩٣
	زراعية ، تربة ، مواد بناء	رطل / بوصة ^٣	كجم / م ^٣	٢٧٦٧٩,٩
كثافة	سائل	رطل / قدم ^٣	كجم / م ^٣	١٦,٠١٩
	غاز	رطل / جالون	كجم / لتر	١,١٩٨
		رطل / قدم ^٣	كجم / م ^٣	١٦,٠١٨
معدل سريان الحرارة	عامة ، إشعاع	و.ج. أ. / (ساعة . قدم ^٢)	واط / م ^٢	٣,١٥٥
كفاءة الوقود	اقتصاديات مركبات الطرق السريعة	ميل / جالون	كم / لتر	٤,١٥

تابع ملحق (د) .

الكمية	التطبيق	من : الوحدات الفقدية	إلى : النظام العالمي	اضرب في :
طاقة،	حرارة	رطل / (حصان . ساعة)	جم / ميغا جول	١٦٨, ٩٧
شغل، إنثالبي	استخدامات	قدم - رطل	جول	١, ٣٥٦
كمية حرارة	الطاقة، كهربائي	و.ج. أ.	ك. جول	١, ٠٥٥
		ك. كالوري	ك. جول	* ٤, ١٨٧
		ك. واط . ساعة	ميغا . جول	٣, ٦
	ميكانيكية،	رطل . قدم	جول	١, ٣٥٦
	هيدروليكي،	حصان . ساعة	ميغا جول	٢, ٦٨٥
	عامة	حصان . ساعة	ك واط . ساعة	٧٤٦ ,
الطاقة لوحدة المساحة	طاقة شمسية عامة	و.ج. أ. / قدم ^٢	ميغا جول / م ^٢	٠, ١١
طاقة، نوعية	غاز، سائل	كالوري / جم	جول / جم	* ٤, ١٨٧
سريان، كتلة،	هواء، غاز، عامة	و.ج. أ. / رطل	ك جول / جم	* ٢, ٣٢٦
معدل سريان، حجم	سريان مائع، عامة	رطل / دقيقة قدم ^٣ / ث جالون / ث	كجم / دقيقة م ^٣ / ث لتر / ث م ^٣ / ث	٤٥٤ , ٠, ٢٨ ٣, ٧٨٥ ٠, ٠٠٤
قوة، دفع، محب	بذل، سير، عامة	رطل قوة كجم قوة	نيوتن نيوتن	٤, ٤٤٨ ٩, ٨٠٧

تابع ملحق (د) .

الكمية	التطبيق	من : الوحدات الفدعية	إلى : النظام المالي	المخرب في :
		داين	نيوتن	* ٠,٠٠٠١
حرارة نوعية	عامة	كالوري / جم	ك. جول	* ٤,١٨٧
الطول	مسافة أرضية، خريطة	ميل يارد قدم بوصة	كم م م سم	* ١,٦٠٩ ٩١٤ ٣٠٥ ٢,٥٤
كتلة	كتلة مركبة، حملة عجلة	رطل سلاج	كجم	٠,٤٥٣ ١٤,٩٥٣
	حمل، سعة، كمية محصول، كتلة وعاء	أونز	جم	٢٨,٣٤٩
كتلة لوحدة المساحة	كتلة جسم عامة أغطية سطحية	أونز/ ياردة ^٢ رطل/ قدم ^٢ رطل/ فدان	جم/ م ^٢ كجم/ م ^٢ كجم/ هكتار	٣٣,٩٠٦ ٤,٨٨٢ ١,١٢١
		رطل/ قدم ^٢	كجم/ م ^٢	١,٤٨٨
كتلة لوحدة المسافة	أعضاء/ إنشائية، عامة	رطل/ يارد	كجم/ م	, ٤٩٦
عزم قوة . عزم إنحناء	عامة، عزم محرك عزم عمود	رطل قوة . بوصة كجم قوة . مم	نيوتن . م نيوتن . م	, ١١٣ , ٠٩٨

تابع ملحق (د) .

الكمية	التطبيق	من: الوحدات القديمة	إلى: النظام العالمي	أخرب في:
قدرة	عامة، مصابيح إضاءة،	و.ج. أ. ساعة	واط	٢٩٣,
	هواء تكييف، تسخين	قدرة بالحصان (٥٥٠ رطل. قدم / ث)	ك. واط	٧٤٦,
قدرة لوحدة المساحة	أشعة شمسية	و.ج. أ. (قدم ^٢ ساعة)	واط / م ^٢	٣,١٥٥
الضغط	كل الضغوط باستثناء الصغيرة	رطل / بوصة ^٢ بوصة زئبق (٦٠° ف) بوصة ماء (٦٠° ف) مم زئبق (صفر° م) كجم / سم ^٢ بار	ك. بيسكال ك. بيسكال ك. بيسكال ك. بيسكال ك. بيسكال ك. بيسكال	٦,٨٩٥ ٣,٣٧٧ ٢٤٩, ١٣٣, ٩٨,١ *١٠٠
إجهاد	عامة استخدام عام	ضغط جوي طبيعي رطل قوة / بوصة ^٢	ك. بيسكال ميغا. بيسكال	*١٠١,٣٣ ,٠٠٧

تابع ملحق (د) .

الكمية	التطبيق	من : الوحدات القديمة	إلى : النظام العالمي	اضرب في :
درجة الحرارة		°ف	°م	(ف-٣٢) ١,٨ /
الانتشارية الحرارية	انتقال الحرارة	قدم ^٢ /ساعة	م ^٢ /ساعة	٠,٩٣
حجم	جسم مركب، أرض، غاز، مبنى، عامة	يارد ^٣ قدم ^٣ بوشل ^٣ قدم ^٣ فدان . قدم ^٣ بوشل (أمريكي)	م ^٣ م ^٣ لتر لتر م ^٣ م ^٣	٠,٧٦٥ ٠,٠٢٨ ٣٥,٢٤ ٢٨,٣١٧ ١,٢٣٤ ٠,٠٣٥
حجم لوحدة المساحة	ري، غزان صوامع غلال	جالون/ فدان	لتر/ هكتار	٩,٣٥٤
حجم لوحدة الزمن	تطبيقات على معدلات، مبيلات استهلاك وقود	جالون/ ساعة	لتر/ ساعة	٣,٧٨٥

ثبت المصطلحات العلمية

أولاً: عربي - إنجليزي



Doors or panels	أبواب أو ألواح
rooling doors	أبواب لفافة
hinged panels	ألواح مفصلية
sidewall	حائط جانبي
curtain walls	حوائط على هيئة شتائر
plastic curtain	ستارة بلاستيكية
vertical sliding wall panel	لوح حائطي منزلق رأسي
center pivot	محور مركزي
tilting	الميل
Dust	الأتربة
Water stress	إجهاد مائي
Controls	أجهزة تحكم
thermostats	أجهزة تحكم في درجة الحرارة
sensing	إحساس
automatic	آلي
contraction	انكماش
maintenance	صيانة

pollution	التلوث
temperature	درجة الحرارة
humidity	رطوبة
variable speed	سرعة متغيرة
volumetric flow	سريان حجمي
fan	مروحة
microprocessor	معالج البيانات
coefficient	معامل
logic	منطق
Thermostats	أجهزة تحكم في درجة الحرارة
bi-metallic	ازدواج معدني
vapor filled	امتلاء بخاري
lag	تأخر
liquid filled	امتلاء سائلي
accuracy	الدقة
differential	فرقي
switching differential	فرقي تحويلي
range	مدى
switches	مفاتيح
sensing location	موضع الإحساس
Humidistats	أجهزة تحكم في الرطوبة
electric hygrometer	مقياس رطوبة كهربائي
Timers, internal	أجهزة توقيت، داخلية
Sensing devices	أجهزة حس
Sensing thermostats	أجهزة حس درجة الحرارة
Liquid scrubbers	أجهزة غسل الغاز السائلة
Testing	اختبار

fans	مراوح
Reproduction performance	أداء التناسل
Static, no deliver	استاتيكي، لا يوجد دفع
stacking patterns	أنماط التكدس
environmental conditions	ظروف بيئية
Radiation	الإشعاع
thermal	حراري
solar	شمسي
Photoperiod lighting	الإضاءة في فترة ضوئية
Sheep	أغنام
reproduction	تناسل
ewes	نعا
Furnaces, heat	أفران، حرارة
Electrical furnaces	أفران كهربائية
Economics	اقتصاديات
Wall panels	ألواح حائطية
Panels, hinged	ألواح مفصليّة
Safety	الأمان
Transmittance	الإمرار
Ammonia	الأمونيا
Tubes	أنابيب
ventilation	تهوية
Ducts	أنابيب
ventilation	التهوية
air distribution	توزيع الهواء
pressurized	مكبّط الضغط
Plastic tubes, perforated	أنابيب بلاستيكية، مثقبة

Ventilation tubes	أنابيب تهوية
Germination	إنبات
Pitot tube	أنبوبة بيتوت
Pipe, buried	أنبوبة مدفونة
Piloerection	انتصاب الشعر
Turgor	انتفاخ
Radiant heat transfer	انتقال الحرارة بالإشعاع
Conduction heat transfer	انتقال الحرارة بالتوصيل
Female	أنثى
Stacking patterns	أنماط التكدس
Pressure patterns	أنماط الضغوط
Ozone	الأوزون
Ethylene	الإيثيلين



Magnetic starter	باديء حركة مغناطيسي
Evapotranspiration	البخر-نتح
Lighting schedules	برامج الإضاءة
Modeling	برمجة
Embryo survival	بقاء الجنين
Photosynthesis	البناء الضوئي
Environment	البيئة
thermal	حرارية
gaseous	غازية
Eggs	بيض
Greenhouses	بيوت محمية
interior design	تصميم داخلي
exterior design	تصميم خارجي

applications	تطبيقات
carbon dioxide	ثاني أكسيد الكربون
glazing materials	مواد أغطية
cropping level	نسبة الامتلاء بالمحصول
Stack effect, temperature	تأثير التكدس، درجة الحرارة
Chimney effect, temperature	تأثير المدخنة، درجة الحرارة
contraction	انكماش
discharge	تصرف
velocity	سرعة
coefficients	معاملات
Ionization	التأين
Radiation exchange	تبادل إشعاعي
Diffusion exchange	تبادل انتشاري
Vaporization	التبخير
latent heat	حرارة كامنة
Cooling	التبريد
evaporative	تبخيري
sensible	محسوس
fan and pad	مروحة ووسادة
air	هواء
Refrigeration	تبريدي
Fan and pad cooling	تبريد بواسطة وسادة ومروحة
Evaporative cooling	تبريد تبخيري
adiabatic exchange	تبادل أدياباتي
cooling efficiency	كفاءة التبريد
Sensible cooling	تبريد محسوس

Mechanical refrigeration	تبرید میکانیکی
Infrared	تحت الحمراء
Negative feedback control	تتحكم في تغذية استرجاعية سالبة
Photoperiodic control	التحكم في الفترة الضوئية
tuberization	التدرن
flowering	تزهير
photoreaction	رد الفعل الضوئي
dormancy	سبات
Feed conversion	تحويل الغذاء
Storage	التخزين
Tuberization	التدرن
Heating	التدفئة
floors	أرضيات
electric furnaces	أفران كهربائية
hot water pipes	أنابيب ماء حار
infrared	تحت الحمراء
equipment	تجهيزات
catalytic radiant heaters	دفايات إشعاعية حفّازة
resistance heaters	دفايات كهربائية
heating cable	كابل تدفئة
electric	كهربية
heat exchangers	مبادلات حرارية
regenerators	المجدّات
sensible	محسوس
brooder lamps	مصابيح تدفئة حضانات
heat pumps	مضخات حرارية
recuperators	المعوّضات

hot water and steam systems	نظم ماء حار وبخار
warm air systems	نظم هواء دافئ
ventilating air	هواء تهوية
Infrared heating	تدفئة بالأشعة تحت الحمراء
Electrical heating	تدفئة كهربائية
electrical furnaces	أفران كهربائية
resistance-type heaters	دفايات كهربائية
Flowering	التزهير
Hot water heating	تسخين ماء حار
steam	بخار
forced circulation	تقليب مدفوع
gravity	الجاذبية
Sensible heating	تسخين محسوس
Warm air heating	تسخين هواء دافئ
Infiltration	تسرب
Design	تصميم
Management practices	التطبيقات الإدارية
Decay	تعفن
constant	ثابت
Steam sterilization	التعقيم بالبخار
Vasoconstriction	تقلص الأوعية الدموية
Feed costs	تكاليف الغذاء
Condensation	تكثيف
Operant conditioning	تكيف فعال
Air-conditioning	تكيف - هواء
negative feedback control	التحكم في التغذية الراجعة السالبة
controlled thermal inputs	تزويدات حرارية منضبط فيها

thermoregulation	التنظيم الحراري
thermoregulatory actuators	مشغلات ميكانيكية للتنظيم الحراري
set point	نقطة ضبط
Pollution	التلوث
Reproduction	التناسل
sheep, swine, cattle	أغنام وخنازير وماشية
female	أنثى
male	ذكر
Respiration	تنفس
Ventilation	التهوية
ducts	أنابيب
control	تحكم
zero pressure	ضغط صفر
neutral pressure	ضغط متعادل
natural	طبيعي
exhaust	طرد
attic	العلية
requirements	متطلبات
control logic	منطق التحكم
systems	نظم
pressurized systems	نظم ضاغطة
natural systems	نظم طبيعية
mechanical systems	نظم ميكانيكية
Manure pit ventilation	تهوية حفرة المخلفات
Over-ventilation	تهوية زائدة
Natural ventilation	تهوية طبيعية
wind	رياح

Attic ventilation

تهوية العلبة



Carbon dioxide

ثاني أكسيد الكربون



Roots

جذور

environment

بيئة

substrate

مادة الوسط الجذري

media

الوسط

Bacteria

جراثيم



Spinal cord

الحبل الشوكي

Specific volume

حجم نوعي

Heat

حرارة

production

الإنتاج

metabolic production

الإنتاج الأيضي

transfer

انتقال

radiant transfer

انتقال بالإشعاع

convection transfer

انتقال بالحمل

equipment

تجهيزات

supplemental

تزويدي

respiration

التنفس

critical temperature

درجة حرارة حرجة

solar

شمسي

furnace

فرن

loss

فقد

evaporative loss

فقد تبخيري

respiratory loss

فقد تنفسي

total heat loss	فقد حراري كلي
animal loss	الفقد من الحيوان
latent	كامن
sensible (transfer)	محسوس (انتقال)
Equipment heat	حرارة الأجهزة
Convective heat	حرارة بالحمل
transfer	انتقال
coefficient of heat transfer	معامل انتقال الحرارة
Heat of respiration	حرارة التنفس
Latent heat	حرارة كامنة
production	الإنتاج
Latent heat of vaporization	الحرارة الكامنة لتبخير الماء
Sensible heat	حرارة محسوسة
transfer	انتقال
respiratory transfer	انتقال مع التنفس
loss	فقد
Thermal	حراري
radiation	إشعاع
transmittance	الإمرار
environment	بيئة
neutrality	التعادل
body temperature	درجة حرارة الجسم
critical temperature	درجة حرارة حرجية
physiology	فيسيولوجيا
zone of least thermoregulatory effort	منطقة أقل مجهود للتنظيم الحراري
thermoregulatory zone	منطقة التنظيم الحراري
Vasomotion	حركة انقباض الأوعية الدموية

Milk

حليب

Charts

خرائط

Psychrometric chart

الخريطة السيكمرومترية

Vegetables

خضار

heat of respiration

حرارة التنفس

relative humidity

الرطوبة النسبية

storage life

عمر التخزين

Mixing

خلط

Adiabatic mixing of air

خلط أدياباتي للهواء

Swine

الخنازير

feed conversion

تحويل الغذاء

heat loss

فقد حراري

rate of gain

معدل الاكتساب

activity

نشاط

Turkeys

الدجاج الرومي

Temperature

درجة الحرارة

cardinal

الأساسية

environmental

بيئية

stack effect

تأثير التكديس

chimney effect

تأثير المدخنة

control

تحكم

summer ambient design

تصميم جو صيفي

inside design

تصميم داخلي

regulation

تنظيم

ventilation, rise

تهوية، ارتفاع

moisture production	تولد رطوبي
dry-bulb	جافة
root	جذر
optimum ambient	جو مثالي
critical	حرج
interior greenhouse	داخل البيت المحمي
wet-bulb	رطب
evaporative heat loss	فقد حراري تبخيري
sensible heat loss	فقد حراري محسوس
difference forces	قوى الفروقات
night	ليل
humidity index	مؤشر الرطوبة
plant	نبات
dew-point	نقطة-الندى
leaf	ورقة نبات
Cardinal temperature	درجة حرارة أساسية
Dry bulb temperature	درجة حرارة جافة
Summer ambient design temperatures	درجات حرارة الجو التصميمية الصيفية
Optimum ambient temperature	درجة حرارة الجو المثلى
Critical temperature	درجة حرارة حرجة
Night temperature	درجة حرارة الليل
Dew-point temperature	درجة حرارة نقطة-الندى
Leaf temperature	درجة حرارة ورقة النبات
Radiant heaters	دفايات بالإشعاع
Catalytic radiant heaters	دفايات إشعاعية حفّازة
Free air delivery	دفع هواء حر
Poultry	دواجن

laying hens	دجاج بياض
turkeys	دجاج رومي
broilers	دجاج لاحم
broiler chicks	كتاكيت
Thermoperiodism	الدورية الحرارية
health	الصحة
reproduction	التناسل
Male	ذكر
Wet-bulb	رطب
depression	انخفاض
temperature	درجة الحرارة
Humidity	رطوبة
mass balance	اتزان رطوبة
winter	شتاء
levels	مستويات
index (temperature)	مؤشر (درجة حرارة)
ratio	نسبة
relative	نسبية
Moisture	رطوبة
control	تحكم
production	تولد
losses	فواقد
Winter humidity	رطوبة شتوية
Relative humidity	رطوبة نسبية
Prandtl number	رقم براندل

Grashof number	رقم جريشوف
Reynolds number	رقم رينولد
Nusselt number	رقم ناسيلت
Wind	رياح
direction	اتجاه
pressure patterns	أنماط ضغط
effects	تأثيرات
velocity	سرعة
air flow	سريان هواء
static pressure	ضغط استاتيكي
magnitude	كمية



Hydroponics	الزراعة بالماء
-------------	----------------



Dormancy	سبات
Plastic curtains	ستائر بلاستيكية
Entrainment	السحب
Velocity	السرعة
maximum	أقصى
profile	شكل جانبي
head	ضاغط
residual	متبقية
inlet	مدخل
coefficient of	معامل
Volumetric flow	سريان حجمي
Air flow	سريان هوائي
static pressure	ضغط استاتيكي

velocity	السرعة
wind	الرياح
Boundary layer thickness	سمك طبقة حدية
Profile, velocity	شكل توزيع السرعة
Solar	شمسية
radiation	الإشعاع
transmission	إمرار
shading	تغطية
heat	حرارة
heat load	حمل تدفئة
energy	طاقة
collectors	مجمعات
glazing transmission	معامل الإمرار

Health

الصحة

Static pressure, air delivery

ضغط استاتيكي، دفع هواء

Light

الضوء

Energy

الطاقة

balance

اتزان

use, monthly

استخدام، شهري

metabolism

الأيض

metabolizable

الأيضية

alternate

بدائل

feed	تغذية
intake	داخل
solar	شمسية
electrical	كهربائية
loss	مفقودة
Alternate energy	الطاقة البديلة
Feed energy	طاقة الغذاء
Electrical energy	طاقة كهربائية
Exhaust	الطرد
outlets	مخارج
fans	المراوح
ventilation systems	نظم التهوية



Exterior greenhouse	الظروف التصميمية
design conditions	الخارجية للبيوت المحمية
Interior greenhouse design conditions	الظروف التصميمية داخل البيت المحمي



Calf (Calves)	عجل (عجول)
Insulation (building)	عازل (مبنى)
Sweating	العرق
Storage life of fruits and vegetables	عمر تخزين الفاكهة والخضر



Methane	غاز الميثان
---------	-------------



Fruit	فاكهة
heat of respiration	حرارة التنفس
relative humidity	الرطوبة النسبية

storage life	عمر التخزين
Vents	فتحات
side or sidewall	جانبية أو حائط جانبي
ridge	حافة
Eave openings	فتحات إفريزية
Wall openings	فتحات حائطية
curtain walls	حوائط على هيئة ستائر
Ridge openings	فتحات حافة
uncovered	غير مغطاة
Perimeter slotted air inlets	فتحات مداخل هوائية
Brushes, repulsion motors	فرش، محركات كهربائية من النوع التنافري
Litter	فرشة أرضية
Bedding	فرشة حيوانات
Pressure difference	فرق الضغط
static	ساكن
velocity	سرعة
total	كلي
Reproduction failure	فشل التناسل
Respiratory evaporation heat loss	فقد حراري تبخيري تنفسي
Conduction heat loss	فقد حراري بالتوصيل
Dalton's law	قانون دالتون
Perfect gas law	قانون الغاز المثالي
Throw	قذفة
"laws" (fans)	"قوانين" (مراوح)
Hydrogen sulfide	كبريتات الهيدروجين

Efficiency	كفاءة
fan rating	تصنيف المراوح
motors	محركات كهربائية
ventilation efficiency ratio	نسبة كفاءة التهوية
Reproduction efficiency	كفاءة التناسل
Meat	لحم
Glazing greenhouse material	مادة غطاء البيت المحمي
Substrate	مادة الوسط الجذري
Cattle	ماشية
dairy cows	بقرة حلاب
health	الصحة
calves	عجول
beef	لحم
reproduction	النسل
Livestock	ماشية ودواجن
Heat exchanger	مبادل حراري
regenerators	المجددات
recuperators	المعوّضات
Buildings	مباني
orientation	توجيه
dairy facilities	حظائر ماشية حلابة
insulation	عازل
ridge openings	فتحات حافة
Coolers	مبرّدات
pad material	مادة الوسادة

evaporative package units	وحدات تبريد متكاملة
pads	وسائد
Evaporative coolers	مبرّادات تبخيرية
performance	أداء
for greenhouses	للبيوت المحمية
systems	نظم
Dampers	مبشّطات
louver	فتحة
Collectors, solar	مجمعات، شمسية
Enthalpy	محتوى حراري
Repulsion motors	محركات تنافرية
Shaded pole motors	محركات ذات أقطاب معزولة
shading	العزل
Split phase motors	محركات ذات أوجه منفصلة
Capacitor-start,	محركات ذات مكثف - بداية،
induction-run motors	تشغيل - حثي
Capacitor-start,	محركات ذات مكثف - بداية،
Capacitor-run motors	مكثف - تشغيل
Permanent split capacitor motors	محركات ذات مكثف دائم الانفصال
Series or universal motors	محركات عامة أو متوالية
Squirrel cage motors	محركات قفص السنجاب
Motors	محركات كهربائية
repulsion	تنافر
series	توالي
induction	حثي
universal	شامل
shaded pole	قطب معزول

squirrel cage	قفص السنجاب
efficiency	كفاءة
damper	مبسط
shutter	مصراع
capacitor-start,	مكثف - بدء حركة،
induction-run	تشغيل - حثي
capacitor-start,	مكثف - بدء حركة،
capacitor-run	مكثف - تشغيل
permanent split capacitor	مكثف دائم الانفصال
split phase	وجه منفصل
Brain	مخ
Inlets	مداخل
velocity	السرعة
perimeter slotted	فتحة محيطية
center-ceiling, slotted	مركز-سقف، فتحة
placement	الموضع
Ceiling-wall inlet	مدخل حائطي-سقيفي
slotted air inlets,	فتحات مداخل هوائية،
ceiling slot inlet	فتحة مدخل سقفية
center ceiling	في مركز السقف
Automatic controllers	مراقبات آلية
Fans	المراوح
testing	اختبار
controls	أدوات تحكم
static and mechanical	استاتيكية وميكانيكية
efficiency rating,	تصنيف الكفاءة،
recirculating	تقليب

stirring	تقليب
belt driven	دفع بالسيور
direct drive	دفع مباشر
propeller	الرفاصة
centrifugal flow	سريان طرد مركزي
axial flow	سريان محوري
maintenance	الصيانة
static pressure	ضغط استاتيكي
pressure sidewall	ضغط على حائط جانبي
exhaust	الطرد
"laws"	"قوانين"
tubeaxial	محور أنبوبي
vane axial	محور دوار
flow rate	معدل سريان
location	الموضع
Belt driven fans	مراوح تدفع بالسيور
Vane axial fans	مراوح تربينية
Propeller fans	مراوح رفاصة
Centrifugal flow fans	مراوح سريان طرد مركزي
forward, backward, and radial	أمامي وخلفي ونصف قطري
Axial flow fans	مراوح سريان محوري
Radial centrifugal fans	مراوح طرد مركزي في اتجاه نصف القطر
Tubeaxial fans	مراوح محوري-أنبوبي
Relays	مرحلات
Vane anemometer	المرياح الدوار
Thermoeceptors	مستقبلات حرارية
Calorimetry	مسعري

indirect	غير مباشر
direct	مباشر
Actuators	مُشغلات ميكانيكية
rotary	دوراني
proportional rotary	دوراني نسبي
Rotary actuators	مُشغلات ميكانيكية دورانية
proportional	تناسبي
Brooder lamps	مصابيح تدفئة
Shutters	مصاريع
Louver dampers	مضاءلات
Heat pumps	المضخات الحرارية
Manometer	المضغوط
Equations	معادلات
continuity	الاستمرار
volumetric air flow	سريان هوائي حجمي
Continuity equation	معادلة الاستمرار
Microprocessor	معالج البيانات
Conduction heat transfer coefficient	معامل انتقال الحرارة بالتوصيل
Discharge coefficient	معامل التصريف
Metabolic rate	معدل الأيض
Basal metabolic rate	معدل الأيض الأساسي
Ventilation rate	معدل تهوية
maximum rate	أقصى معدل
minimum continuous	أقل معدل مستمر
staging	مراحل
medium rate	معدل متوسط
Conception rate	معدل الحمل

Flow rate (fans)	معدل سريان (مراوح)
power input	تزويد الطاقة
velocity pressure difference	فرق ضغط السرعة
total pressure difference	فرق ضغط كلي
static efficiency	كفاءة استاتيكية
mechanical efficiency	كفاءة ميكانيكية
Transpiration rates	معدلات النتح
moisture losses	فواقد رطوبة
dissolved substances	مواد متحللة
maturity	النضج
Recuperators	معوّضات
Switches	مفاتيح
thermostats	أجهزة تحكم في درجة الحرارة
Pychrometrics	مقاييس خواص الهواء الرطب
Electrical hygrometer	مقياس رطوبة كهربائي
Anemometer	مقياس لسرعة الهواء
stacking	تكديس
heat loss	فقد حراري
maximum energy efficiency	كفاءة أقصى نشاط
basal metabolic rate	معدل الأيض الأساسي
Pollutants	ملوثات
ozone	الأوزون
ethylene	إيثيلين
liquid scrubbers	أجهزة غسل الغاز السائلة
Zones	مناطق
jet	نافورة
Logic, control	منطق التحكم

Filters	منقليات
fibrous	ليفني
Semen	المني (ماء الرجل)
fertility	الخصوبة
quality	الجودة
Dissolved substances	مواد متحللة
Placement	موضع (مدخل)
Regenerators	مولدات
Wall jet	نافورة حائطية
Free jet	نافورة حرة
entrainment	السحب
residual velocity	السرعة المتبقية
throw	القذفة
Transpiration	التتح
Cropping level	نسبة الامتلاء بالمحصول
Entrainment ratio	نسبة السحب
Ventilating efficiency ratio	نسبة كفاءة التهوية
Maturity	النضج
Evaporative systems	نظم تبخيرية
Ventilation systems	نظم تهوية
ceiling-slot inlet	فتحة مدخل-سقفية
tube inlet	مدخل أنبوبي
ceiling-wall inlet	مدخل حائط-سقفية
Mechanical ventilation systems	نظم تهوية ميكانيكية
pressure	ضغط
exhaust	طرد

neutral	متعادل
Jets (air)	نوافير (هواء)
wall	حائط
free	حرة
entrainment	السحب
residual velocity	سرعة متبقية
throw	القذفة
isothermal	مع ثبات درجة الحرارة
nonisothermal	مع عدم ثبات درجة الحرارة
zones	مناطق
Air jets	نوافير هوائية
Isothermal jets	نوافير عند ثبات درجة الحرارة
Nonisothermal jets	نوافير عند عدم ثبات درجة الحرارة
Corona	هالة
Humidifying ventilation air	هواء تهوية مرطب
Air	هواء
exchange volumes	أحجام متبادلة
ducts	أنابيب
distribution	التوزيع
mixing	خلط
adiabatic mixing	خلط أدياباتي
velocity	السرعة
boundary layer thickness	سمك الطبقة الحدية
delivery	الطرد

openings	فتحات
outlets	مخارج
inlets	مداخل
exchange rate	معدل تبادل
circulation	دوران
contaminants	الملوثات
Dehumidifying air	هواء مزالة رطوبته
inside	داخلي
outside	خارجي
Ridge vents	هوايات حافة
4	
Pads	وسائد
horizontal	أفقية
cooling	تبريد
vertical	رأسية
thickness	السماك
density	كثافة
porous	المسامية
Porous pad	وسادة مسامية
drip type	نوع بالتنقيط
rotary type	نوع دوراني
slinger type	نوع قاذف

ثانيًا: إنجليزي - عربي



Actuators

proportional rotary

rotary

Adiabatic mixing of air

Air

adiabatic mixing

boundary layer thickness

circulation

contaminants

delivery

distribution

ducts

exchange rate

exchange volumes

inlets

mixing

openings

outlets

مُشغلات ميكانيكية

دوراني نسبي

دوراني

خلط أدياباتي للهواء

هواء

خلط أدياباتي

سمك الطبقة الحدية

دوران

الملوثات

الطرْد

التوزيع

أنابيب

معدل تبادل

أحجام متبادلة

مداخل

خلط

فتحات

مخارج

pollutants	ملوثات
velocity	السرعة
Air-conditioning	تكييف - هواء
Air flow	سريان هوائي
static pressure	ضغط استاتيكي
velocity	السرعة
wind	الرياح
Air jets	نوافير هوائية
Alternate energy	الطاقة البديلة
Ammonia	الأمونيا
Anemometer	مقياس لسرعة الهواء
basal metabolic rate	معدل الأيض الأساسي
heat loss	فقد حراري
maximum energy efficiency	كفاءة أقصى نشاط
stacking	تكديس
Attic ventilation	تهوية العلبة
Automatic controllers	مراقبات آلية
Axial flow fans	مراوح سريان محوري
B	
Bacteria	جراثيم
Basal metabolic rate	معدل الأيض الأساسي
Bedding	فرشة حيوانات
Belt driven fans	مراوح تدفع بالسيور
Boundary layer thickness	سمك طبقة حدية
Brain	منخ
Brooder lamps	مصابيح تدفئة
Brushes, repulsion motors	فرش، محركات كهربائية من النوع التنافري

Buildings	مباني
dairy facilities	حظائر ماشية حلابة
insulation	عازل
orientation	توجيه
ridge openings	فتحات حافة
C	
Calf (Calves)	عجل (عجول)
Calorimetry	مسعري
direct	مباشر
indirect	غير مباشر
Capacitor-start,	محركات ذات مكثف-بداية،
Capacitor-run motors	مكثف-تشغيل
capacitor-start,	محركات ذات مكثف-بداية،
induction-run motors	تشغيل - حثي
Carbon dioxide	ثاني أكسيد الكربون
Cardinal temperature	درجة حرارة أساسية
Catalytic radiant heaters	دفايات إشعاعية حفّازة
Cattle	ماشية
beef	لحم
calves	عجول
dairy cows	بقر حلاب
health	الصحة
reproduction	النسل
Ceiling-wall inlet	مدخل حائط-سقف
Ceiling slot inlet	فتحة مدخل سقفية
Center ceiling,	فتحات مداخل هوائية،
slotted air inlets	في مركز السقف

Centrifugal flow fans	مراوح سريان طرد مركزي
forward, backward, and radial	أمامي وخلفي ونصف قطري
Charts	خرائط
psychrometric	سيكرومترية
Chimney effect, temperature	تأثير المدخنة، درجة الحرارة
Coefficients	معاملات
contraction	انكماش
discharge	تصرف
velocity	سرعة
Collectors, solar	مجمعات، شمسية
Conception rate	معدل الحمل
Condensation	تكثيف
Conduction heat loss	فقد حراري بالتوصيل
Conduction heat transfer	انتقال الحرارة بالتوصيل
Conduction heat transfer coefficient	معامل انتقال الحرارة بالتوصيل
Continuity equation	معادلة الاستمرار
volumetric flow	سريان حجمي
contraction	انكماش
coefficient	معامل
Controls	أجهزة تحكم
automatic	آلي
fan	مروحة
humidity	رطوبة
logic	منطق
maintenance	صيانة
microprocessor	معالج البيانات
pollution	التلوث

sensing	إحساس
temperature	درجة الحرارة
thermostats	أجهزة تحكم في درجة الحرارة
variable speed	سرعة متغيرة
ventilation	التهوية
Convective heat	حرارة بالحمل
coefficient of heat transfer	معامل انتقال الحرارة
transfer	انتقال
Coolers	مبرّدات
evaporative package units	وحدات تبريد متكاملة
pad material	مادة الوسادة
pads	وسائد
Cooling	التبريد
air	هواء
evaporative	تبخيري
fan and pad	مروحة ووسادة
sensible	محسوس
Corona	هالة
Critical temperature	درجة حرارة حرجية
Cropping level	نسبة الامتلاء بالمحصول
D	
Dalton's law	قانون دالتون
Dampers	مشبّطات
louver	فتحة
Decay	تعفن
constant	ثابت
Dehumidifying air	هواء مزالة رطوبته

Design	تصميم
inside	داخلي
outside	خارجي
Dew-point temperature	درجة حرارة نقطة-الندى
Diffusion exchange	تبادل انتشاري
Discharge coefficient	معامل التصريف
Dissolved substances	مواد متحللة
Doors or panels	أبواب أو ألواح
center pivot	محور مركزي
curtain walls	حوائط على هيئة ستائر
hinged panels	ألواح مفصليّة
plastic curtain	ستارة بلاستيكية
rooling doors	أبواب لفافة
sidewall	حائط جانبي
tilting	الميل
vertical sliding wall panel	لوح حائطي منزلق رأسي
Dormancy	سبات
Dry bulb temperature	درجة حرارة جافة
Ducts	أنابيب
air distribution	توزيع الهواء
pressurized	مكثف الضغط
ventilation	التهوية
Dust	الأتربة
Eave openings	فتحات إفريزية
Economics	اقتصاديات
Efficiency	كفاءة

fan rating	تصنيف المراوح
motors	محركات كهربائية
ventilation efficiency ratio	نسبة كفاءة التهوية
Eggs	بيض
Electrical furnaces	أفران كهربائية
Electrical heating	تدفئة كهربائية
electrical furnaces	أفران كهربائية
resistance-type heaters	دفايات كهربائية
Electrical hygrometer	مقياس رطوبة كهربائي
Electrical energy	طاقة كهربائية
Embryo survival	بقاء الجنين
Energy	الطاقة
alternate	بدائل
balance	اتزان
electrical	كهربائية
feed	تغذية
intake	الداخلة
loss	مفقودة
metabolism	الأيض
metabolizable	الأيضية
solar	شمسية
use, monthly	استخدام، شهري
Enthalpy	محتوى حراري
Entrainment	السحب
Entrainment ratio	نسبة السحب
Environment	البيئة
gaseous	غازية

thermal	حرارية
Equations	معادلات
continuity	الاستمرار
volumetric air flow	سريان هوائي حجمي
Equipment heat	حرارة الأجهزة
Ethylene	الإيثيلين
Evaporative systems	نظم تبخيرية
Evaporative coolers	مبرّدات تبخيرية
performance	أداء
for greenhouses	للبيوت المحمية
systems	نظم
Evaporative cooling	تبريد تبخيري
adiabatic exchange	تبادل أدياباتي
cooling efficiency	كفاءة التبريد
Evaporative heat loss	فقد حراري تبخيري
respiration	التنفس
Evapotranspiration	البخر-نتح
Exhaust	الطرد
fans	المراوح
outlets	مخارج
ventilation systems	نظم التهوية
Exterior greenhouse	الظروف التصميمية
design conditions	الخارجية للبيوت المحمية
Fans	المراوح
axial flow	سريان محوري
belt driven	دفع بالسيور

centrifugal flow	سريان طرد مركزي
controls	أدوات تحكم
direct drive	دفع مباشر
efficiency rating,	تصنيف الكفاءة،
static and mechanical	استاتيكية وميكانيكية
exhaust	الطررد
flow rate	معدل سريان
"laws"	"قوانين"
location	الموضع
maintenance	الصيانة
pressure sidewall	ضباغطة على حائط جانبي
propeller	الرفاصة
recirculating	تقليب
static pressure	ضبط استاتيكي
stirring	تقليب
testing	اختبار
tubeaxial	محور أنبوبي
vane axial	محور دوار
Fan and pad cooling	تبريد بواسطة وسادة ومروحة
Feed conversion	تحويل الغذاء
Feed costs	تكاليف الغذاء
Feed energy	طاقة الغذاء
Female	أنثى
Filters	منقيات
fibrous	ليفية
liquid scrubbers	أجهزة غسل الغاز السائلة
Floors (heating)	أرضيات (تدفئة)

heating cable	كابل تدفئة
hot water pipes	أنابيب مياه ساخنة
slotted	مشقبة
Flow rate (fans)	معدل سريان (مراوح)
mechanical efficiency	كفاءة ميكانيكية
power input	تزويد الطاقة
static efficiency	كفاءة استاتيكية
total pressure difference	فرق ضغط كلي
velocity pressure difference	فرق ضغط السرعة
Flowering	التزهير
Free air delivery	دفع هواء حر
Free jet	نافورة حرة
entrainment	السحب
residual velocity	السرعة المتبقية
throw	القذفة
Fruit	فاكهة
heat of respiration	حرارة التنفس
relative humidity	الرطوبة النسبية
storage life	عمر التخزين
Furnaces, heat	أفران ، حرارة
G	
Gas law, perfect	قانون الغاز المثالي
Germination	إنبات
Glazing greenhouse material	مادة غطاء البيت المحمي
Grashof number	رقم جريشوف
Greenhouses	بيوت محمية
applications	تطبيقات

carbon dioxide
cropping level
exterior design
glazing materials
interior design

ثاني أكسيد الكربون
نسبة الامتلاء بالحصول
تصميم خارجي
مواد أغطية
تصميم داخلي

H

Health

الصحة

Heat

حرارة

animal loss
convection transfer
critical temperature
equipment
evaporative loss
furnace
latent
loss
metabolic production
production
radiant transfer
respiratory loss
respiration
sensible (transfer)
solar
supplemental
total heat loss
transfer

الفقد من الحيوان
انتقال بالحمل
درجة حرارة حرجة
تجهيزات
فقد تبخيري
فرن
كامن
فقد
الإنتاج الأيضي
الإنتاج
انتقال بالإشعاع
فقد تنفسي
التنفس
(انتقال) محسوس
شمسي
تزويدي
فقد حراري كلي
انتقال

Heat exchanger

مبادل حراري

recuperators	المعوّضات
regenerators	المجدّدات
Heat of respiration	حرارة التنفس
Heat pumps	المضخات الحرارية
Heating	التدفئة
brooder lamps	مصابيح تدفئة حضانات
catalytic radiant heaters	دفايات إشعاعية حفّازة
electric	كهربية
electric furnaces	أفران كهربائية
equipment	تجهيزات
floors	أرضيات
heat exchangers	مبادلات حرارية
heat pumps	مضخات حرارية
heating cabale	كابل تدفئة
hot water and steam systems	نظم ماء حار وبخار
hot water pipes	أنابيب ماء حار
infrared	تحت الحمراء
recuperators	المعوّضات
regeneratores	المجدّدات
resistance heaters	دفايات كهربائية
sensible	محسوس
ventilating air	هواء تهوية
warm air systems	نظم هواء دافئ
Hot water heating	تسخين ماء حار
forced circulation	تقليب مدفوع
gravity	الجاذبية
steam	بخار

Humidifying ventilation air	هواء تهوية مرطب
Humidistats	أجهزة تحكم في الرطوبة
electric hygrometer	مقياس رطوبة كهربائي
Humidity	الرطوبة
control	تحكم
index (temperature)	مؤشر (درجة حرارة)
levels	مستويات
mass balance	اتزان رطوبي
ratio	نسبة
relative	نسبية
winter	شتاء
Hydrogen sulfide	كبريتات الهيدروجين
Hydroponics	الزراعة بالماء
Humidistats	أجهزة تحكم في الرطوبة
I	
Infiltration	تسرب
Infrared	تحت الحمراء
Infrared heating	تدفئة بالأشعة تحت الحمراء
Inlets	مداخل
center-ceiling, slotted	مركز-سقف، فتحة
perimeter slotted	فتحة محيطية
placement	الموضع
velocity	السرعة
Insulation (building)	عازل (مبنى)
Interior greenhouse design conditions	الظروف التصميمية داخل البيت للمحمي
Ionization	التأين
Isothermal jets	نوافير عند ثبات درجة الحرارة

J

Jets (air)	نوافير (هواء)
entrainment	السحب
free	حرة
isothermal	مع ثبات درجة الحرارة
nonisothermal	مع عدم ثبات درجة الحرارة
residual velocity	سرعة متبقية
throw	القذفة
wall	حائط
zones	مناطق
Latent heat	حرارة كامنة
production	الإنتاج

L

Latent heat of vaporization	الحرارة الكامنة لتبخير الماء
Law	قانون
Dalton's	دالتون
perfect gas	الغاز المثالي
"laws" (fans)	"قوانين" (مراوح)
Leaf temperature	درجة حرارة ورقة النبات
Light	الضوء
Lighting schedules	برامج الإضاءة
Liquid scrubbers	أجهزة غسل الغاز السائلة
Litter	فرشة أرضية
Livestock	ماشية ودواجن
Logic, control	منطقية التحكم
Louver dampers	مضاعلات

M

Magnetic starter	باديء حركة مغناطيسي
Male	ذكر
Management practices	التطبيقات الإدارية
Manometer	المضغاط
Manure pit ventilation	تهوية حفرة مخلفات حيوانية
Maturity	النضج
Meat	لحم
Mechanical refrigeration	تبريد ميكانيكي
Mechanical ventilation systems	نظم تهوية ميكانيكية
exhaust	طرد
pressure	ضغط
neutral	متعادل
Metabolic rate	معدل الأيض
Methane	غاز الميثان
Microprocessor	معالج البيانات
Milk	حليب
Mixing	خلط
adiabatic of air	هواء أدياباتي
tubes	أنابيب
Modeling	برمجة
Moisture	رطوبة
control	تحكم
losses	فواقد
production	تولد
Motors	محركات كهربائية
capacitor-start,	مكثف - بدء حركة،

capacitor-run	مكثف - تشغيل
capacitor-start,	مكثف - بدء حركة ،
induction-run	تشغيل - حثي
damper	مببط
efficiency	كفاءة
induction	حثي
permanent split capacitor	مكثف دائم الانفصال
repulsion	تنافر
series	توالي
shaded pole	قطب معزول
squirrel cage	قفص السنجاب
shutter	مصراع
split phase	وجه منفصل
universal	عامة



Natural ventilation	تهوية طبيعية
wind	رياح
Negative feedback control	التحكم في تغذية استرجاعية سالبة
Night temperature	درجة حرارة ليلية
Nonisothermal jets	نوافير عند عدم ثبات درجة الحرارة
Nusselt number	رقم ناسيلت



Operant conditioning	تكييف فعال
Optimum ambient temperature	درجة حرارة الجو المثلى
Over-ventilation	تهوية زائدة
Ozone	الأوزون

P

وسائد	Pads
تبريد	cooling
كثافة	density
أفقية	horizontal
المسامية	porous
السك	thickness
رأسية	vertical
ألواح مفصليّة	Panels, hinged
قانون الغاز المثالي	Perfect gas law
أنابيب بلاستيكية مثقبة	Perforated plastic tubes
فتحات مداخل هوائية	Perimeter slotted air inlets
محركات ذات مكثف دائم الانفصال	Permanent split capacitor motors
الإضاءة في فترة ضوئية	Photoperiod lighting
التحكم في الفترة الضوئية	Photoperiodic control
سبات	dormancy
تزهير	flowering
التدرن	tuberization
رد الفعل الضوئي	photoreaction
البناء الضوئي	Photosynthesis
خنازير	Pigs
نشاط	activity
تحويل الغذاء	feed conversion
فقد حراري	heat loss
معدل الاكتساب	rate of gain
انتصاب الشعّر	Piloerection
أنبوبة مدفونة	Pipe, buried

Pitot tube	أنبوبة بيتوت
Placement	موضع
Plastic curtains	ستائر بلاستيكية
Plastic tubes, perforated	أنابيب بلاستيكية ، مثقبة
Pollutants	ملوثات
ethylene	إيثيلين
ozone	الأوزون
Pollution	التلوث
Porous pad	وسادة مسامية
drip type	نوع بالتنقيط
rotary type	نوع دوراني
slinger type	نوع قاذف
Poultry	دواجن
broiler chicks	كتاكيت
broilers	دجاج لائح
laying hens	دجاج بياض
turkeys	دجاج رومي
Prandtl number	رقم براندل
Pregnancy rate	معدل الحمل
Pressure difference	فرق الضغط
static	ساكن
total	كلي
velocity	سرعة
Pressure patterns	أنماط الضغط
Profile, velocity	شكل توزيع السرعة
Propeller fans	مراوح رفاصة
Psychrometric chart	الخريطة السيكرومترية

Psychrometrics	مقاييس خواص الهواء الرطب
Radial centrifugal fans	مرآوح طرد مركزي في اتجاه نصف القطر
Radiant heat transfer	انتقال الحرارة بالإشعاع
Radiant heaters	دفايات بالإشعاع
Radiation	الإشعاع
solar	شمسي
thermal	حراري
Radiation exchange	تبادل إشعاعي
Recuperators	معوّضات
Refrigeration	تبريدي
Regenerators	مولّدات
Relative humidity	رطوبة نسبية
Relays	مرحلات
Reproduction	التناسل
female	أنثى
male	ذكر
sheep, swine, cattle	أغنام وخنازير وماشية
Reproduction efficiency	كفاءة التناسل
Reproduction failure	فشل التناسل
Reproduction performance	أداء التناسل
Repulsion motors	محركات تنافرية
Respiration	تنفس
Respiratory evaporation heat loss	فقد حراري تبخيري تنفسي
Reynolds number	رقم رينولد
Ridge openings	فتحات حافة
uncovered	غير مغطاة

Ridge vents	هوايات حافة
Roots	جذور
environment	بيئة
media	الوسط
substrate	مادة الوسط الجلدي
Rotary actuators	مُشغلات ميكانيكية دورانية
proportional	تناسبي
S	
Safety	الأمان
Semen	المني (ماء الرجل)
fertility	الخصوبة
quality	الجودة
Sensible cooling	تبريد محسوس
Sensible heat	حرارة محسوسة
loss	فقد
respiratory transfer	انتقال تنفسي
transfer	انتقال
Sensible heating	تسخين محسوس
Sensing devices	أجهزة حس
Sensing thermostats	أجهزة حس درجة الحرارة
Series or universal motors	محركات عامة أو متوالية
Shaded pole motors	محركات ذات أقطاب معزولة
shading	العزل
Sheep	أغنام
reproduction	تناسل
ewes	نعا
Shutters	مصاريع

Spinal cord	الحبل الشوكي
Split phase motors	محركات ذات أوجه منفصلة
Squirrel cage motors	محركات قفص السنجاب
Slotted floors	أرضيات مثقبة
Solar	شمسي
collectors	مجمعات
energy	طاقة
glazing transmission	معامل الإمرار
heat	حرارة
heat load	حمل تدفئة
radiation	الإشعاع
shading	تغطية
transmission	إمرار
Specific volume	حجم نوعي
Stack effect, temperature	تأثير التكديس، درجة الحرارة
Stacking patterns	أنماط التكديس
Static, no deliver	استاتيكي غير مدفوع
Static pressure, air delivery	ضغط استاتيكي، دفع هواء
Steam sterilization	التعقيم بالبخر
Storage	التخزين
stacking patterns	أنماط التكديس
environmental conditions	ظروف بيئة
Storage life of fruits and vegetables	عمر تخزين الفاكهة والخضر
Substrate	مادة الوسط الجذري
Summer ambient design temperatures	درجات حرارة الجو التصميمية الصيفية
Sweating	العرق
Swine	الخننازير

health	الصحة
reproduction	التناسل
Switches	مفاتيح
thermostats	أجهزة تحكم في درجة الحرارة
T	
Temperature	درجة الحرارة
cardinal	الأساسية
chimney effect	تأثير المدخنة
control	تحكم
critical	حرجة
dew-point	نقطة-الندى
difference forces	قوى الفروقات
dry-bulb	جافة
environmental	بيئية
evaporative heat loss	فقد حراري تبخيري
humidity index	مؤشر الرطوبة
inside design	تصميم داخلي
interior greenhouse	داخل البيت المحمي
leaf	ورقة نبات
moisture production	تولّد رطوبي
night	ليلية
optimum ambient	جو مثالي
plant	نبات
regulation	تنظيم
root	جذر
sensible heat loss	فقد حراري محسوس
stack effect	تأثير التكديس

ventilation, rise	تهوية، ارتفاع
wet-bulb	رطب
Testing	اختبار
fans	مراوح
Thermal	حراري
body temperature	درجة حرارة الجسم
critical temperature	درجة حرارة حرجية
environment	بيئة
neutrality	التعادل
physiology	فسيولوجي
radiation	إشعاع
thermoregulatory zone	منطقة التنظيم الحراري
transmittance	الإمرار
zone of least thermoregulatory effort	منطقة أقل مجهود للتنظيم الحراري
Thermoreceptors	مستقبلات حرارية
Thermoregulation	التنظيم الحراري
controlled thermal inputs	تزويدات حرارية متحكم فيها
negative feedback control	التحكم في التغذية الاسترجاعية السالبة
set point	نقطة ضبط
thermoregulatory actuators	مُشغلات ميكانيكية للتنظيم الحراري
Thermoperiodism	الدورية الحرارية
Thermostats	أجهزة تحكم في درجة الحرارة
accuracy	الدقة
bi-metallic	ازدواج-معديني
differential	فرقي
lag	تأخر
liquid filled	امتلاء سائلي

range	مدى
sensing location	موضع الإحساس
switches	مفاتيح
switching differential	فرقي تحويلي
vapor filled	امتلاء بخاري
Timers, internal	أجهزة توقيت، داخلية
Throw	قذفة
jet	نافورة
Transmittance	الإمرار
Transpiration	التنح
Transpiration rates	معدلات التنح
maturity	النضج
moisture losses	فواقد رطوبة
dissolved substances	مواد متحللة
Tubaxial fans	مراوح محوري-أنبوبية
Tuberization	التدرن
Tubes	أنابيب
ventilation	تهوية
Tubes, plastic perforated	أنابيب، بلاستيكية مثقبة
Turgor	انتفاخ
Turkeys	الدجاج الرومي
U	
Universal motors	محركات عامة
V	
Vane anemometer	المرياح الدوآر
Vane axial fans	مراوح توربينية
Vaporization	التبخير

latent heat	حرارة كامنة
Vasomotion	حركة انقباض الأوعية الدموية
Vasoconstriction	تقلص الأوعية الدموية
Vegetables	خضضر
heat of respiration	حرارة التنفس
relative humidity	الرطوبة النسبية
storage life	عمر التخزين
Velocity	السرعة
coefficient of	معامل
head	ضاغط
inlet	مدخل
maximum	أقصى
profile	شكل جانبي
residual	متبقية
Ventilating efficiency ratio	نسبة كفاءة التهوية
Ventilation	التهوية
attic	العلبة
control	تحكم
control logic	منطق التحكم
ducts	أنابيب
exhaust	طرد
mechanical systems	نظم ميكانيكية
natural	طبيعية
natural systems	نظم طبيعية
neutral pressure	ضغط متعادل
pressurized systems	نظم ضاغطة
requirements	متطلبات

systems	نظم
tubes	أنابيب
zero pressure	ضغط صفر
Ventilation rate	معدل تهوية
minimum continuous	أقل معدل مستمر
medium rate	معدل متوسط
maximum rate	أقصى معدل
staging	مراحل
Ventilation systems	نظم تهوية
ceiling-wall inlet	مدخل حائط-سقي
ceiling-slot inlet	فتحة مدخل-سقفية
tube inlet	مدخل أنبوبي
Ventilation tubes	أنابيب تهوية
Vents	فتحات
side or sidewall	جانبية أو حائط جانبي
ridge	حافة
Volume	حجم
specific	نوعي
Volumetric flow	سريان حجمي
Wall jet	نافورة حائطية
Wall openings	فتحات حائطية
curtain walls	حوائط على هيئة ستائر
Wall panels	ألواح حائطية
Warm air heating	تسخين هواء دافئ
forced circulation	تقليب بالدفع
gravity	الجاذبية



Water stress	إجهاد مائي
Wet-bulb	رطب
depression	انخفاض
temperature	درجة الحرارة
Wind	رياح
air flow	سريان هوائي
direction	اتجاه
effects	تأثيرات
magnitude	كمية
pressure patterns	أنماط ضغط
static pressure	ضغط استاتيكي
velocity	سرعة
Winter humidity	رطوبة شتوية
Z	
Zones	مناطق
jet	نافورة

كشاف الموضوعات

- رطوبة ٨، ٨٥، ٢١٢، ٣٢٣
 سرعة متغيرة ٩٢
 مريان حجمي ٥٠، ٥٣، ٢٦٨
 مروحة ٦٠، ٢٨٢، ٤١٥، ٤٢٣
 معالج البيانات ٩٦
 معامل ٣١
 منطق ٩٠
 أجهزة تحكم في درجة الحرارة ٧٨، ٨٤
 ازدواج معدني ٨١
 امتلاء بخاري ٨٠
 تأخر ٨٢
 امتلاء سائلي ٧٩
 الدقة ٨٢
 فرقي ٨٢
 فرقي تحويلي ٨٢
 مدى ٨٣
 مفاتيح ٨٣
 موضع الإحساس ٨٤
 أجهزة تحكم في الرطوبة ٨٥
 مقياس رطوبة كهربي ٨٦
- L**
- أبواب أو ألواح
 أبواب لفافة ٢٩٧، ٣٠١
 ألواح مفصلية ٢٩٧، ٣٠٠
 حائط جانبي ١٣٦
 حوائط على هيئة شتائر ٢٩٧، ٢٩٩
 ستارة بلاستيكية ١٣٦، ٢٩٩، ٣٠٣
 لوح حائطي مترلق رأسي ١٣٧
 محور مركزي ١٣٦
 الميل ٢٩٧
 الأتربة ١٠٤، ٢٢٢، ٢٢٥، ٤٩٨
 إجهاد مائي ٣٥٢
 أجهزة تحكم ٧٨، ٩٢، ٩٦
 أجهزة تحكم في درجة الحرارة ٧٨، ٨٤
 إحساس ٧٩، ٨٠، ٨١
 آلي ٩٦
 انكماش ٣١
 صيانة ٩٢
 التلوث ٥٠٢
 درجة الحرارة ٩، ١٨٨، ٣٠٦

- التهوية ١٣٤، ١٣٨، ٢٦٨، ٢٨٢
 توزيع الهواء ٥٠
 مكثف الضغط ٢٨٥
 أنابيب بلاستيكية، مثقبة ٤٠٨
 أنابيب تهوية ٤٠٥
 إنبات ٣١٦
 أنبوبة بيتوت ٥٤
 أنبوبة مدفونة ٥٠٩
 انتصاب الشعر ١٧١
 انتفاخ ٣٥٣
 انتقال الحرارة بالإشعاع ١٨٠
 انتقال الحرارة بالتوصيل ١٨٤
 أنثى ٢٠٧
 أنماط التكديس ٤٦٤، ٤٦٦
 أنماط الضغط ١١٨
 الأوزون ٣٤١
 الإيثيلين ٣٤١
 باديء حركة مغناطيسي ٧٢
 البخار-تنح ٣٧٠
 برامج الإضاءة ٢٠٠
 برمجة ٥٠٧
 بقاء الجنين ٢١٠
 البناء الضوئي ٣٢٥
 البيئة
 حرارية ١٦٩
 غازية ١٦٩
- أجهزة توقيت، داخلية ٨٦، ٨٧
 أجهزة حس ٨٥
 أجهزة حس درجة
 الحرارة ٧٨، ٨٤
 أجهزة غسل الغاز
 السائلة ١٠٤
 اختبار
 مراوح ٦٦
 استاتيكي، لا يوجد دفع ٧٠
 أنماط التكديس ٤٦٤، ٤٦٦
 ظروف بيئة ٤٦٨
 الإشعاع ٣٢٦
 حراري ٣٨٠
 شمسي ٣٧٩
 الإضاءة في فترة ضوئية ٣٢٦
 أغنام ١٩٣، ٢١٧
 تناسل ٢٠٦
 نعا ٢٠٧
 أفران، حرارة ٣٦٧
 أفران كهربائية ١٥١
 اقتصاديات ٥١١
 ألواح حائطية ١٣٧
 ألواح مفصلية ٢٩٧، ٣٠٠
 الأمان ٩١
 الإمرار ٣٦٨
 الأومونيا ٢٢٠، ٢٢٢
 أنابيب ٢٨، ٢٨٥

تبريد تبخيري	بيض ٢٠٦، ٢١٥، ٢١٨
تبادل أدياباتي ١٦، ١٤٥	بيوت محمية ١٦٣
كفاءة التبريد ١٤٤	تصميم داخلي ٣٧٧
تبريد محسوس ١٥	تصميم خارجي ٣٧٨
تبريد ميكانيكي ٤١٢	تطبيقات ٥٠٢
تحت الحمراء ٢٠٤	ثاني أكسيد الكربون ٢١٩، ٢٢١
تحكم في تغذية استرجاعية سالبة ١٧١	مواد أغطية ٣٧٩
التحكم في الفترة الضوئية	نسبة الامتلاء بالمحصول ٣٨٨
التدرن ٣٢٣	ت
تزهير ٣٢٢	تأثير التكديس، درجة الحرارة ١٢٧
رد الفعل الضوئي ٣٢٢، ٣٢٣	تأثير المدخنة، درجة الحرارة ١٢٧
سُبَات ٣٢٢	انكماش ٣١
تحويل الغذاء ١٠٩	تصرف ٣١
التخزين ٤٦١	سرعة ١٥٣
التدرن ٣٢٣	معاملات ٣١
التدفئة	التأين ١٠٨
أرضيات ١٠٣	تبادل إشعاعي ٣٧١
أفران كهربائية ١٠١	تبادل انتشاري ١٨٥
أنابيب ماء حار ١٠٠	التبخير
تحت الحمراء ٢٠٤	حرارة كامنة ١٨٧
تجهيزات	التبريد
دفايات إشعاعية حَفَازة ١٠٣	تبخيري ١٦، ١٤٤
دفايات كهربائية ١٠٣	محسوس ١٥
كابل تدفئة ١٠١	مروحة ووسادة تبريد ٤١٢
كهربية ١٠١	هواء ١٩
مبادلات حرارية ١٠١	تبريدي ٤١٢
	تبريد بواسطة وسادة ومروحة ٤١٢

تكييف فعال ١٧٤	المجددات ١٠٢
تكييف - هواء ١٢	محسوس ١٢
التحكم في التغذية الاسترجاعية	مصابيع تدفئة حضانات ١٠١
السالبة ١٧١	مضخات حرارية ١٠١
تزويدات حرارية متحكم فيها ١٧١	المعوضات ١٠٢
التنظيم الحراري ١٧١	نظم ماء حار وبخار ١٠٠
مشغلات ميكانيكية للتنظيم	نظم هواء دافئ ٩٩، ١٠٠
الحراري ١٧٢	هواء تهوية ٩٩، ١٠٠
نقطة ضبط ١٧٢	تدفئة بالأشعة تحت
التلوث ٥٠٢	الحرماء ٢٠٤
التناسل ٢٠٦	تدفئة كهربائية
أغنام وماشية ٢٠٧	أفران كهربائية ١٠١
أنثى ٢٠٧	دفايات كهربائية ١٠٣
ذكر ٢٠٩	التزهير ٣٢٢
تنفس ٤٣٥، ٤٣٦، ٤٣٧	تسخين ماء حار
التهوية ٥٠، ١٣٤، ١٣٨	بخار ١٠٠
أنابيب ٢٨، ٢٨٥	تقليب مدفوع ١٠٠
تحكم ٧٨، ٩٢، ٩٤، ٩٦	الجازية ١٠١
ضغط صفر ٢٩٠	تسخين محسوس ١٢
ضغط متعادل ٢٩٠	تسخين هواء دافئ ٩٩، ١٠٠
طررد ٢٨٢	تسرب ٥٢، ٣٧١
العلية ١٣٨	تصميم ٣٧٧، ٣٧٨
متطلبات ٤٩٣	التطبيقات الإدارية ٢٠٠، ٢٥٧
منطق التحكم ٤٩٢	التعقيم بالبخار ٣٥٧
نظم ضاغطة ٢٨٧	تقلص الأوعية الدموية ١٧١، ١٨٥
نظم طبيعية ٢٩٠	تكاليف الغذاء ٤٩٨، ٤٩٩
نظم ميكانيكية ٢٧١	تكييف ٥٣، ٢٣٨

- تهوية حفرة المخلفات ٢٨٢، ٢٨٤
 تهوية زائدة ٥٠١
 تهوية طبيعية ١١٢، ١٣٤
 رياح ١١١، ١١٢، ١١٤
 تهوية العلية ١٣٨
- ث**
 ثاني أكسيد الكربون ٢١٩،
 ٢٢١، ٢٢٣
- ج**
 جذور
 بيئة ٣٤٤
 مادة الوسط الجذري ٣٣٤
 الوسط ٣٤٤
 جراثيم ٥٠٢
- ح**
 الحبل الشوك ١٧٢
 حجم نوعي ٩
 حرارة
 الإنتاج ١٦٩، ٢٤٢
 الإنتاج الأيضي ١٧٥، ١٧٦
 انتقال ٣٦٦، ٣٦٧
 انتقال بالإشعاع ١٨٠
 انتقال بالحمل ١٨٤
 تجهيزات ٧٨، ٩٢، ٥٠٣
 تزويدي ٢٧٨، ٢٤٧
 التنفس ٤٣٨
 درجة حرارة حرجة ٢٠٢
- شمسي ٣٦٦، ٣٦٨
 فرن ٣٦٦، ٣٦٧
 فقد ١٧١، ٣٦٦
 فقد تبخيري ١٦، ١٤٤
 فقد تنفسي ٤٣٨
 فقد حراري كلي ١٧٦، ١٧٧
 الفقد من الحيوان ١٧٦، ١٧٧
 كامن ١٨٧
 محسوس (انتقال) ١٢، ١٨١، ١٨٤
 حرارة الأجهزة ٣٦٧
 حرارة بالحمل ١٨١
 انتقال ٣٦٦، ٣٦٧
 معامل انتقال الحرارة ١٨٠، ١٨٤
 حرارة التنفس ١٨٠، ١٨١، ١٨٤
 حرارة كامنة ١٨٧
 الإنتاج ١٦٩، ٢٤٢
 الحرارة الكامنة لتبخير الماء
 حرارة محسوسة ١٢، ١٨١، ١٨٤
 انتقال ٣٦٦، ٣٦٧
 انتقال مع التنفس ١٨٠، ١٨١
 فقد ١٧١، ٣٦٦
 حراري ١٧٦، ١٧٧
 إشعاع ١٨٠
 الإمرار ٣٦٨
 بيئة ٣٤٤
 التعادل ٢٩٠
 درجة حرارة الجسم ١٧٦

- درجة حرارة حرجة ٢٠٢
 فسيولوجيا ١٧٠
 منطقة أقل مجهود للتنظيم
 الحراري ١٧١
 منطقة التنظيم الحراري ١٧١، ١٧٢
 حركة انقباض الأوعية الدموية ١٧١،
 ١٨٥
 حليب ٢١٤، ٢١٨
- خ**
- خرائط ١١
 الخريطة السيكرومترية ١١
 خضر
 حرارة التنفس ٤٣٨
 الرطوبة النسبية ٤٥١
 عمر التخزين ٤٣٨، ٤٥٣
 خلط ٢٠
 خلط أدياباتى للهواء ٢٠، ٢١
 تحويل الغذاء ١٠٩
 فقد حراري ١٧٦، ١٧٧
 معدل الاكسباب ١٠٩
 نشاط ١٧٧
- د**
- الدجاج الرومي ١٩٥
 درجة الحرارة
 الأساسية ٣١٤
 بيئية ٣٤٤
 تأثير التكدس ١٢٧
 تأثير المدخنة ١٢٧
 تحكم ٢٤٤
 تصميم جو صيفي ٢٤٤
 تصميم داخلي ٢٤٥
 تنظيم ١٧٠
 تهوية، ارتفاع ٢٦٥
 تولد رطوبي ١٨٧
 جافة ٩
 جذر ٣٤٦
 جو مثالي ٣١٥
 حرج ٢٠٢
 داخل البيت المحمي ٣٦٧
 رطب ٩
 فقد حراري تبخيري ١٦، ١٤٤
 فقد حراري محسوس ١٥
 قوى الفروقات ١٢٧
 ليل ٣١٨
 مؤشر الرطوبة ٢١٥
 نبات ٣٠٦
 نقطة-الندى ١٤
 ورقة نبات ٣٠٧
 درجة حرارة أساسية ٣١٤
 درجة حرارة جافة ٩
 درجات حرارة الجو التصميمية ٢٤٤،
 ٢٤٥
 الصيفية ٢٤٤
 درجة حرارة الجو المثلى ٣١٥

- درجة حرارة حرجة ٢٠٢
درجة حرارة الليل ٣١٨
درجة حرارة نقطة-الندى ١٤
درجة حرارة ورقة النبات ٣٠٧
دفايات بالإشعاع ٢٠٤
دفايات إشعاعية حفّازة ٢٠٤
دفع هواء حر ٦٦
دواجن ٢٢٠
دجاج بيّاض ١٩٦
دجاج رومي ١٩٥
دجاج لاحم ١٩٤
كتاكيت ١٩٤، ٢٠٣
الدورية الحرارية ٣١٦
الصحة ٢٢٣
التناسل ٢٠٦
- ذ**
ذكر ٢٠٩
- ر**
رطب
انخفاض ٩
درجة الحرارة ٩، ٢١٤
رطوبة ٢١٢
اتزان رطوبة ٣٧٤
شتاء ٣٧٨
مستويات ٣٧٤
مؤشر (درجة حرارة) ٢١٥
رطوبة ٢١٢
- تحكم ٤٩٧
تولد ١٨٧
فواقد ١٨٠، ١٨١
رطوبة شتوية ٣٧٨
رطوبة نسيية ٨
رقم براتدل ١٨٢
رقم جريشوف ١٨٢
رقم رينولد ١٨٣
رقم ناسيلت ١٨٢
رياح
اتجاه ١١٣
أمناء ضغط ١١٨
تأثيرات ٤٩١
سرعة ١١٣
سريان هواء ١١٣
ضغط استاتيكي ١١٣
كمية ١١٣
- ز**
الزراعة بالماء ٣٤٨
- س**
سبات ٣٢٢
ستائر بلاستيكي ١٣٦، ٢٩٩، ٣٠٣
السحب ٤١، ٤٢
السرعة ٣٠، ٣٢
أقصى ٣٣
شكل جانبي ٤١
ضاغط ١١٢

- متبقية ٤١، ٤٥
 مدخل ٣٨
 معامل ٣١
 سريان حجمي ٣١
 سريان هوائي
 ضغط استاتيكي ١١٢
 السرعة ١١٢، ٢١٦
 الرياح ١١٢
 سمك طبقة حدية ٣٠٧
ش
 شكل توزيع السرعة ٣٣، ٤١
 شمسية
 الإشعاع ٣٦٦، ٣٦٨
 إمرار ٣٦٨
 تغطية ٣٦٦
 حرارة ٣٦٦
 حمل تدفئة ٣٦٦
 طاقة ٣٦٦
 مجمعات ١٠٣، ٥١٠
 معامل الإمرار ٣٦٨
ص
 الصحة ٢٢٣
ض
 ضغط استاتيكي، دفع هواء ١١٢
 الضوء ٣٢٥
ط
 الطاقة
- اتران ١٧٤، ٣٦٦
 استخدام، شهري ٤٩٥
 الأبيض ١٧٥، ١٧٦
 الأبيض ١٧٥، ١٧٦
 بدائل ٥٠٨
 تغذية ٢٠١
 داخل ١٧٤، ٣٦٦
 شمسية ٣٦٦
 كهربائية ١٠١
 مفقودة ٢٠١
 الطاقة البديلة ٥٠٨
 طاقة الغذاء ٢٠١
 طاقة كهربائية ١٠١، ١٠٣
 الطرد ٢٨٢
 مخارج ٤٠٠
 المراوح ٦٠
 نظم التهوية ٢٨٢
ظ
 الظروف التصميمية
 الخارجية للبيوت المحمية ٣٧٨
 الظروف التصميمية داخل البيت
 المحمي ٣٧٧
ع
 عجل (عجول) ٢١٣، ٢١٧
 عازل (مبنى) ٢٥٧، ٤٩٧
 العرق ١٧١، ١٨٦
 عمر تخزين الفاكهة والخضار ٤٣٨

ع

غاز الميثان ٢٢١

ك

فاكهة

حرارة التنفس ٤٣٨ ، ٤٣٩

الرطوبة النسبية ٤٣٧

عمر التخزين ٤٣٨

فتحات

جانبية أو حائط جانبي ٤١٥ ، ٤٣٢

حافة ١٣٤ ، ٤٢٩

فتحات إفريزية ١٣٤ ، ٤٣٢

فتحات حائطية ٤١٥ ، ٤٢٩

حوايط على هيئة ستائر ٣٠٢ ، ٣٠٣

فتحات حافة ٤٢٩

غير مغطاة ١٣٤

فتحات مداخل هوائية ٢٨

فرش، محركات كهربائية من النوع

التنافري ٧٦

فرشة أرضية ٢٢٣

فرشة حيوانات ٢٠٤

فرق الضغط

استاتيكي ٦٩

سرعة ٦٩

كلي ٦٩

فشل التناسل ٢٠٨

فقد حراري تبخيري تنفسي ٤٣٨

فقد حراري بالتوصيل ١٨٤

ق

قانون دالتون ٧

قانون الغاز المثالي ٦

قذفة ٤٥

"قوانين" (مراوح) ٦٩

ك

كبريتيد الهيدروجين ٢٢٢

كفاءة

تصنيف المراوح ٧٠

محركات كهربائية ٧٢

كفاءة التناسل ٢٠٨

ل

لحم ٢١٣ ، ٢١٧

م

مادة غطاء البيت للحمي ٣٧٣

مادة الوسط الجندري ٣٤٤

ماشية ٢١٣ ، ٢١٧

بقر حلاب ٢١٤ ، ٢١٨

الصحة ٢٢٣

عجول ٢١٣ ، ٢١٧

لحم ٢١٣ ، ٢١٧

النسل ٢٠٨

ماشية ودواجن ٢١٣ ، ٢٢٠

مبادل حراري ١٠١ ، ٥١٠

المجذّات ١٠٢

المعوضات ١٠٢

المراوح ٦٠	مباني
اختبار ٦٨	توجيه ١٣٣
أدوات تحكم ٤٧٦	حظائر ماشية حلاية ٢١٧
كفاءة استاتيكية وميكانيكية ٦٥	عازل ٢٥٧، ٤٩٧
وحدات تبريد متكاملة ٤١٥	فتحات حافة ٤٢٩
وسائل ١٤٨	مبردات
مبردات تبخيرية ١٦٣	مادة الوسادة ١٤٨
أداء ١٤٤	وسادة ومروحة ١٦٢
للبيوت المحمية ١٦٣	مثبط ٩٧
نظم ٢٨٧	مصراع ٩٧
مبثطات ٨٩، ٩٧	مكثف - بدء حركة،
فتحة ٨٩	تشغيل - حثي ٧٢
مجمعات، شمسية ١٠٣، ٥١٠	مكثف - بدء حركة،
محتوى حراري ١٠	مكثف - تشغيل ٧٢
محركات تنافرية ٧٦	مكثف دائم الانفصال
محركات ذات أقطاب معزولة ٧٤	وجه منفصل ٧٢
محركات مجزأة الأطوار ٧٤	منخ ١٧٢
محركات ذات مكثف - بداية،	مداخل ٢٨
تشغيل - حثي ٧٥	السرعة ٣٨
محركات ذات مكثف - بداية،	فتحة محيطية ٢٧
مكثف - تشغيل ٧٥	مركز - سقف، فتحة ٢٧
محركات ذات مكثف دائم الانفصال ٧٥	الموضع ٥١
محركات عامة أو متوالية ٧٦	مدخل حائطي - سقف ٢٨٢
محركات قفص السنجاب ٧٢	مدخل أنبوبي ٢٨٥
محركات كهربائية ٧٢	فتحة مدخل سقفية
تنافر ٧٦	في مركز السقف ٢٨٤
توالي ٧٦	مراقبات آلية ٣٠٢

- ٧٥ حثي
٧٦ شامل
٧٤ قطب معزول
مستقبلات حرارية ١٧٠ ، ١٧١
مسعري
غير مباشر ١٧٦
مباشر ١٧٦
مُشغلات ميكانيكية
دوراني ٨٩
دوراني نسبي ٨٩
مُشغلات ميكانيكية دورانية
تناسبي ٨٩
مصابيح تدفئة ١٠٣
مصاريع ٨٩ ، ٩٧
مضاءلات ٨٩ ، ٩٧
المضخات الحرارية ١٠١
المضغوط ٥٣
معادلات
الاستمرار ٢٨
سريان هوائي حجمالي ٢٨
معادلة الاستمرار ٢٨
معالج البيانات ٩٦
معامل انتقال الحرارة بالتوصيل ١٨٤
معامل التصرف ٣٠
معدل الأيض ١٧٥ ، ١٧٦
معدل الأيض الأساسي ١٧٥ ، ١٧٦
معدل تهوية ٣٦٥
٢٧٩ تقليب
دفع بالسيور ٦٢
دفع مباشر ٦٢
الرفاصة ٦١
سريان طرد مركزي ٦٤
سريان محوري ٦١
الصيانة ٥٠٣
ضغط استاتيكي ٤٩١
ضغط على حائط جانبي ٤٢٦
الطرد ٢٧٣ ، ٤٠٠
قوانين ٦٩
محور أنبوبي ٦٣
محور دوأر ٦٠
معدل سريان ٦٥ ، ٦٧
الموضع ٢٧٣ ، ٤٠٠
مراوح تدفع بالسيور ٦٢
مراوح ترينية ٦٠
مراوح رفاصة ٦١
مراوح سريان طرد مركزي
(أمامي وخلفي ونصف قطري) ٦٤
مراوح سريان محوري ٦١
مراوح طرد مركزي في اتجاه نصف
القطر ٦٤
مراوح محوري-أنبوبي ٦٣
مرحلات ٩٣
المضغوط الدوآر ٥٦

معدل الحمل ٢٠٦	منطق التحكم ٩٠
معدل سريان (مراوح)	منقيات
تزويد الطاقة ٦٧	أجهزة غسل الغاز السائلة ١٠٤
فرق ضغط السرعة ٦٧	ليني ١٠٤
فرق ضغط كلي ٦٧	المني (ماء التذكير)
كفاءة استاتيكية ٦٧	الخصوية ٢٠٩
كفاءة ميكانيكية ٦٧	الجودة ٢١٠
معدلات التحج	مواد متحللة ٤٥١
فواقد رطوبة ٤٥١	موضع (مدخل) ٢٨
مواد متحللة ٤٥١	فتحة مدخل - سقفية ٢٧ ، ٢٨٤
النضج ٤٥١	مولدات ١٠١
معوّضات ١٠٢	
مفاتيح	نافورة حائطية ٤٠
أجهزة تحكم في درجة الحرارة ٨٣	نافورة حرة ٤٥
مقاييس خواص الهواء الرطب ٥	السحب ٤٥
مقياس رطوبة كهربائي ٨٥	السرعة المتبقية ٤٥
مقياس لسرعة الهواء ٥٣	القلقة ٤٥
تكليس ٤٦٤ ، ٤٦٦	التحج ٤٥٠
فقد حراري ١٧٦ ، ١٧٧	نسبة الامتلاء بالمحصول ٣٧١
كفاءة أقصى نشاط ١٧٧	نسبة السحب ٤٥
معدل الأيض الأساسي ١٧٥ ، ١٧٦	نسبة كفاءة التهوية ٧١ ، ٩٥
ملوثات	النضج ٤٥١
الأوزون ٣٤١	نظم تبخيرية ١٤٤ ، ١٦٣
إيثيلين ٣٤١	نظم تهوية ٤١٥ ، ٤٢٣ ، ٤٢٩
مناطق	فتحة مدخل - سقفية ٢٢٧ ، ٢٨٤
نافورة ٤٠	فتحات ٤١٥ ، ٤٢٩ ، ٤٣٢
	مخارج ٤٢٩ ، ٤٣٢



- مدخل أنبوبي ٢٨
مدخل حائط - سقف ٢٧، ٢٨٤
نظم تهوية ميكانيكية
ضغط ٢٨٧
طرد ٢٨٢
متعادل ٢٩٠
نوافير (هواء)
حائط ٤٠
حرارة ٤٥
السحب ٤٥
سرعة متبقية ٤٥
القفزة ٤٥
مع ثبات درجة الحرارة ٤٢
مع عدم ثبات درجة الحرارة ٤٢
مناطق النوافير ٤٢
نوافير هوائية ٤٠
نوافير عند ثبات درجة الحرارة ٤٢
نوافير عند عدم ثبات درجة الحرارة ٤٢
- هالة ١٠٥
هواء تهوية مرطب ١٧
هواء
أحجام متبادلة ٤٦٩
السرعة ١١٣، ٢١٦، ٣٤١
سمك الطبقة الحديدية ٣٤١
التوزيع ٥٠، ٤٠٥
- مداخل ٢٨، ٢٨٢، ٢٨٤، ٤٠٣
معدل تبادل ٢١٩
تقليب ٤٠٥
الملوثات ٢١٩
هواء مزالة رطوبته ١٩
داخلي ٢٤٥
خارجي ٢٤٣
هوايات حافة ٢٩٣، ٢٩٥، ٢٩٧
- ٤
وسائل ١٤٨
أفقية ١٥٠
تبريد ١٤٨
رأسي ١٥٠
السُّمك ١٤٩
كثافة ١٤٩
المسامية ١٤٩
وسادة مسامية ١٤٨
نوع بالتنقيط ١٤٦
نوع دوراني ١٤٦
نوع قاذف ١٤٦
- ٥
هالة ١٠٥
هواء تهوية مرطب ١٧
هواء
أحجام متبادلة ٤٦٩
السرعة ١١٣، ٢١٦، ٣٤١
سمك الطبقة الحديدية ٣٤١
التوزيع ٥٠، ٤٠٥

الدكتور / محمد حلمي إبراهيم طلبة

- أستاذ مساعد بقسم الهندسة الزراعية - كلية الزراعة - جامعة الإسكندرية
- مراليد محافظة الإسكندرية عام ١٩٥٤م - جمهورية مصر العربية
- حصل على بكالوريوس الهندسة الزراعية بمرتبة الشرف من جامعة الإسكندرية عام ١٩٧٦م
- عُيِّن معيداً بقسم الهندسة الزراعية - كلية الزراعة جامعة الإسكندرية عام ١٩٧٦م
- حصل على درجة الماجستير في الهندسة الزراعية عام ١٩٨١م من جامعة الإسكندرية
- نال درجة الدكتوراة في الهندسة الزراعية عام ١٩٨٨م من جامعة ولاية ميريلاند الأمريكية
- عمل مدرّساً بقسم الهندسة الزراعية بكلية الزراعة - جامعة الإسكندرية وتمت ترقيته إلى أستاذ مساعد عام ١٩٩٤م
- مُعّار إلى جامعة الملك سعود منذ ١٩٩٢م، وله العديد من البحوث العلمية في مجال هندسة بيئة المنشآت الزراعية، ويقوم بتدريس العلوم ذات العلاقة بالهندسة الزراعية

Bibliotheca Alexandrina



0171006

ردمك: ٩٩٦٠-٠٥-٥٤٨-٥

ISBN: 9960-05-548-5